Aus der Kinderklinik der Universität München
Direktor Prof. Dr. med. K. Betke

Die Strahlenexposition von Kindern bei der Röntgendiagnostik der Nieren und Harnwege

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung der Doktorwürde
in der gesamten Medizin
an der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Jürgen Renner
aus Augsburg

1979

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41535722_0047

Aus der Kinderklinik der Universität München
Direktor Prof. Dr. med. K. Betke

Die Strahlenexposition von Kindern bei der Röntgendiagnostik der Nieren und Harnwege

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung der Doktorwürde
in der gesamten Medizin
an der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Jürgen Renner
aus Augsburg

1979

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof.Dr.med. F.E. Stieve

Mitberichterstatter: Prof.Dr.med.K.Betke

Dekan: Prof.Dr.med.W.Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 2.10.79

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1.	EINLEITUNG	1
2.	METHODIK	3
2.1.	Die kinderurologischen Röntgenuntersuchungen	3
2.2.	Technik der Dosismessung	6
2.2.1.	Routinemäßige Maßnahmen	6
2.2.2.	Thermolumineszenzmeßmethode	8
2.2.2.1.	Dosimeter	8
2.2.2.2.	Anbringung der Dosimeter und Meßstellen	9
2.2.2.3.	Auswertung de Dosimeter	11
2.3.	Patientengut	13
2.3.1.	Allgemeines Patientengut	13
2.3.2.	Urologisches Patientengut	20
3.	ERGEBNISSE	22
3.1.	Routinemäßig erfaßte Daten	22
3.2.	Ergebnisse der Thermolumineszenzmessungen	26
3.3.	Referenzdosismessung	43
3.4.	Prüfung der Genauigkeit der LiF-Dosimeter	58
4.	DISKUSSION	60
4.1.	Diskussion der Ergebnisse	60
4.1.1.	Aufbau	60
4.1.2.	Dosimetereigenschaften	63
4.1.3.	Statistik	66
4.1.4.	Referenzdosismessung	68
4.2.	Vergleich mit anderen Messungen	71
Zusammenfassung		79
Literatur		81
Lebenslauf		

1. Einleitung

Die urologische Röntgendiagnostik im Kindesalter spielt sowohl hinsichtlich der Einzeldosis pro Patient wie auch hinsichtlich der Frequenz dieser Untersuchungen für die Strahlenexposition des Patienten eine außerordentlich große Rolle.

Die beiden Tatsachen, daß diese Untersuchungen in der Pädiatrie so häufig und die dabei erzielten Strahlenexpositionen hoch sind, waren auch bisher schon Anlaß, zahlreiche Messungen zur Schätzung der dabei verursachten Gonadendosis vorzunehmen.

Der technische Fortschritt einerseits und die Kenntnis der Bedeutung der Patientenexpostion andererseits haben inzwischen die Expositionsbedingungen günstig verändert, jedoch sind wichtige Fragestellungen neu hinzugekommen. So sind die Röntgengeräte immer mehr verbessert und neue Filme und Folien entwickelt worden, die bei höherer oder gleicher Information weniger Strahlung als früher benötigen. Darüber hinaus entwickelte sich die Nuklearmedizin so weit, daß Funktionsuntersuchungen der Nieren in der Pädiatrie als Standarduntersuchungen eingeführt werden konnten. Das Radioisotopennephrogramm, das sich dank geeigneter Radionukleide mit einer geringen Strahlenbelastung durchführen läßt, hat geholfen, sowohl die Zahl der Aufnahmen pro Urographie zu senken, als auch die Abstände zwischen den Röntgenuntersuchungen zu verlängern, da zur Kontrolle des Krankheitsverlaufs oft das Radioisotopennephrogramm allein ausreicht.

Als neue und wichtige Fragestellung hat sich bei der urologischen Röntgendiagnostik die nach dem vesikoureteralen Reflux dazugesellt. Dieser ist

am sichersten mit dem Miktionscystourethrogramm nachzuweisen, das daher heute bei der röntgenologischen Routinediagnostik der Nieren und ableitenden Harnwege im Kindesalter nicht mehr fehlen darf. So sind auch die guten therapeutischen Möglichkeiten - beispielsweise bei einer Ureterfehleinmündung - ein Grund, die urologische Röntgendiagnostik im Kindesalter möglichst umfassend durchzuführen.

Da vorausgehende Schätzungen der Patientenexposition bei der urologischen Röntgendiagnostik im Kindesalter im allgemeinen schon längere Zeit zurückliegen, erschien es notwendig, neue Messungen durchzuführen. Das Patientengut der Universitätskinderklinik München schien hierzu besonders geeignet, da hier sehr viele urologische Röntgenuntersuchungen durchgeführt werden und die Technik der Untersuchungen sowohl an die Forderungen des Strahlenschutzes wie auch der klinischen Fragestellungen angepaßt und weitgehend standardisiert wurde.

2. Methodik

2.1. Die kinderurologischen Röntgenuntersuchungen

Die Standarduntersuchungen der urologischen Röntgendiagnostik sind das Urogramm und das Miktionscystourethrogramm. Die Standarddiagnostik beinhaltet außerdem grundsätzlich noch das Radioisotopennephrogramm als nuklearmedizinische Funktionsuntersuchung.

Zunächst sei die Technik der beiden Röntgenuntersuchungen beschrieben, so wie diese in der Universitätskinderklinik München durchgeführt werden.

Grundsätzlich wird ein Infusionsurogramm angefertigt. Danach richtet sich auch die Anzahl und der Zeitpunkt der Aufnahmen. Vor der Kontrastmittelgabe wird eine Abdomenleeraufnahme angefertigt, ein Bild am Ende der Kontrastmittelinfusion und in der Regel ein Bild nach halber Infusion. Auf die Mittelaufnahme kann bei bestimmter Indikation verzichtet werden. Bei Abflußhindernissen werden zusätzliche Spätaufnahmen durchgeführt.

Für die Aufnahmen wird das Abdomen komprimiert, da die die Nieren überlagernde Luft möglichst vollständig weggedrückt werden muß. Dadurch ist die Aufnahme auch frei von Bewegungsunschärfe. Ferner muß weniger Volumen durchstrahlt werden, weshalb die Dosis reduziert werden kann. Beim Mittelbild wird nicht komprimiert. Um einen hohen Informationsgehalt bei einer niedrigen Aufnahmezahl zu erhalten, sind gründliche Abführmaßnahmen unerläßlich; auch dies dient dem Strahlenschutz.

Selbstverständlich sind auch die sorgfältige Einblendung des Feldes mit dem Lichtvisier - Skrotum immer außerhalb des Feldes - und das Anlegen eines Bleigonadenschutzes bei Knaben. Bei noch nicht ganz deszendierten Hoden werden diese in das Skrotum heruntergezogen und

mit einem Gummiband dort fixiert. Nun erst werden die Hoden mit einer Bleikapsel entsprechender Größe vollständig umschlossen. Auf diese Weise kann nur noch eine geringe Menge von oben aus dem Körper kommende Streustrahlung die männlichen Gonaden erreichen. Es ist darauf hinzuweisen, daß ein im Leistenkanal liegender, nicht in den Gonadenschutz gebrachter oder zu bringender Hoden im Strahlengang liegt und annähernd die ganze Einfalldosis erhält.

Zur Verringerung der Knochenmarksdosis wird das Sternum mit einer Bleigummiplatte abgedeckt.

Das Urogramm (IVP) wird mit einer Ausgangsspannung von 70 kV angefertigt. Der Fokus - Film-Abstand beträgt in den meisten Fällen 110 cm, bei einigen Urogrammen, bedingt durch einen anderen Untersuchungstisch, 125 cm. Es wird ein Streustrahlenlaufraster (mit einem Schachtverhältnis von 1:8 und einer Linienzahl von 40/cm) und ein normal verstärkendes Folienpaar verwendet.

Auch die Technik des Miktionscystourethrogramms (MCU) ist stark von den Forderungen des Strahlenschutzes beeinflußt. Auch hier ist bei Knaben der Gonadenschutz selbstverständlich. Zunächst wird unter sterilen Kautelen ein Blasenkatheter gelegt, Harn zur bakteriologischen Untersuchung gewonnen, die Blase ganz entleert, dann durch den Katheter jodhaltiges Kontrastmittel mit Antibiotikumzusatz in die Blase infundiert. Man fordert das Kind auf, den Harndrang zu melden. Im Normalfall erfolgt dann nach Aufforderung die Miktion.

Der Beginn der Füllung der Blase wird mit eingeblendetem Durchleuchtungsbild nur kurz verfolgt. Bei Mädchen ist es in Hinsicht auf die Gonadendosis ganz entscheidend, daß nach begonnener Miktion der obere Rand der

Blase möglichst wenig durchleuchtet wird, da hier die Ovarien direkt im Strahlengang liegen. Keinesfalls darf man - um einen eventuellen vesikoureteralen Reflux zu erfassen - bei eingeschalteter Durchleuchtung mit dem Bildausschnitt hier bis zum Beginn der Miktion verharren, auch wenn diese kurz bevor zu stehen scheint. Vielmehr muß man versuchen, durch einen Dialog mit dem Kind den Beginn der Miktion zu erfassen, wenn dies nicht möglich ist, mit dem Finger vor dem externen Meatus den Beginn der Miktion erwarten.

Die Miktion wird mit dem Bildverstärker ganz verfolgt. Bei einem MCU ohne auffälligen Befund werden bestimmte Phasen der Untersuchung mit drei oder vier Zielaufnahmen im Format 6 x 9 cm dokumentiert*.

Die Durchleuchtung erfolgt mit Bildverstärkerfernsehen, die Feldgröße beträgt 6 x 9 bis 9 x 12 cm, die Dosisleistung am Bildverstärkereingang 8 µR/sec, gelegentlich wird kurzzeitig auf 20µR/sec umgeschaltet, wenn eine bessere Bildqualität erforderlich ist. Zielaufnahmen und Durchleuchtung erfolgen bei Mädchen im pa-Strahlengang, die Miktion wird bei Knaben im seitlichen Strahlengang erfaßt. Die Durchleuchtungsspannung beträgt 80 kV, die Aufnahmespannung bei Mädchen 80 kV, bei Knaben 80 bis 120 kV.

Wie bei anderen Durchleuchtungsuntersuchungen auch, hat hier die Person des Untersuchers einen großen Einfluß auf die Strahlendosis. Einfühlungsvermögen in die Psyche des Kindes, genaue Kenntnis des Miktionsverhaltens und des physiologischen Ablaufs der Miktion helfen hier, Dosis zu sparen. Dank der gut standardisier-

*) Nach Abschluß dieser Arbeit wurden Film-Folien-Aufnahmen vollständig durch 70mm-Fotographie des Bildverstärkerausgangsschirmes ersetzt.

ten Untersuchungstechnik sind jedoch die Unterschiede zwischen den verschiedenen Untersuchern in der Universitätskinderklinik München hinsichtlich Aufnahmezahl und Durchleuchtungszeit nicht sehr groß (siehe 3.1.). Wichtig ist allerdings auch die Bildausschnittwahl, die die Gonadendosis entscheidend beeinflußt.

Neben dem Untersucher und dem Befund ist auch das Verhalten des Kindes von Einfluß auf die Dosis. Es scheint so zu sein, daß Kinder, bei denen keine Kooperation möglich ist, oder solche, bei denen eine wohl nur durch die Untersuchungssituation bedingte funktionelle Harnverhaltung vorliegt, deutlich stärker strahlenexponiert werden als andere Kinder.

2.2. Technik der Dosismessung

2.2.1. Routinemäßige Maßnahmen

In der Universitätskinderklinik werden von jedem Patienten, der geröntgt wird, zahlreiche Daten routinemäßig miterfaßt, die insgesamt bei entsprechender Auswertung einen ungefähren Anhalt über die Strahlenexposition des betreffenden Patienten bei dieser Untersuchung geben sollen. Diese Aufzeichnung der Expositionsdaten wird inzwischen auch vom Gesetzgeber vorgeschrieben.

Es werden registriert: Die Zahl der Aufnahmen, die Röhrenspannung, das Flächendosisprodukt, das Filmformat, die Dosisleistung am Bildverstärkereingang und die Schwärzungsstufe der Belichtungsautomatik, die Zahl der Fehlexpositionen, die verwendete Röhre, der Abstand Röhre-Film, daneben Patientendaten wie Größe und Gewicht. Ebenso wird festgehalten, ob ein Gonadenschutz angelegt wurde. Bei Durchleuchtungsuntersuchungen werden außerdem Durchleuchtungszeit und das Flächendosisprodukt

getrennt nach Durchleuchtungsanteil und Aufnahmeanteil registriert. Auch wird eine Schlüsselzahl für den untersuchenden Arzt und die verantwortliche Radiologieassistentin registriert.

Alle Einstelldaten und Dosismeßgrößen lassen sich untereinander recht gut vergleichen. Über das Flächendosisprodukt und das Filmformat läßt sich die Einfalldosis schätzen. Da jedoch die Lage der Gonaden zum Strahlenfeld sehr verschieden sein kann, ist keine direkte Aussage über die Gonadendosis möglich. In der vorliegenden Untersuchung wurden daher beim IVP und MCU Dosismessungen durchgeführt, um zu einer direkten Schätzung der Gonadendosis bei diesen Untersuchungen zu gelangen.

2.2.2. Thermolumineszenz - Meßmethode

2.2.2.1. Dosimeter

Als Meßverfahren für die vorliegende Arbeit wurde die Thermolumineszenzdosimetrie angewandt. Als Dosimeter wurden Lithium-Fluorid-Kristalle verwendet (amorph gepreßt aus LiF-Pulver).

Für die Messungen der männlichen Gonadendosis sowie für die Bestimmung der Einfalldosis im Strahlengang - also für alle Messungen, die äußerlich durchgeführt wurden - wurden LiF-Kristalle in Form von kleinen quadratischen Plättchen (4x4x1mm) benutzt. Für die intrakorporale - rektale - Messung der weiblichen Gonadendosis wurden kleine Stäbchen (1x1x6mm) verwendet.

Die LiF-Kristalle wurden zu jeweils fünf Stück in Alufolie zusammengepackt. Die Alufolie sollte die Kristalle vor äußeren Einflüssen, die die Auswertung beeinflußen könnten, beschützen. So hat schon eine leichte Verschmutzung einen starken Einfluß auf den Meßwert; durch das Ausheizen und Regenerieren der Kristalle kann sich ein aufliegender Schmutz verfärben und so die Kristalle unbrauchbar machen. Ebenso kann das UV-Licht der Leuchtstoffröhren im Untersuchungs- oder Auswerteraum das Meßergebnis verfälschen.

Um die Streuung der Empfindlichkeit der einzelnen Dosimeter auszugleichen, wurden jeweils fünf Kristalle zusammengepackt und nach der Bestrahlung einzeln ausgewertet. Auf diese Weise konnte man zu einem recht zuverlässigen Mittelwert gelangen. Auch ließen sich durch die Mehrfachmessungen am nicht ganz identischen Ort Strahlenprofile erkennen. Die fünf Kristalle nehmen - nebeneinandergelegen - einen Raum von zwei Zentimeter Länge ein. Auch bei der Messung außerhalb des Strahlen-

ganges konnte - wenn die Kristalle in einer Ebene des Strahlenfeldes lagen - ein deutlicher Abfall vom strahlennächsten zum strahlenfernsten Dosimeter registriert werden.

Durch die Fünffachmessung war es auch möglich, einzelne Ausreißer (Fehler bei der Auswertung, Verunreinigung), die das Ergebnis verfälscht hätten, zu eliminieren. Bei der Messung der weiblichen Gonadendosis mittels rektaler Sonde konnten aus technischen Gründen nur jeweils vier Stäbchen zusammengepackt werden. Es kam öfters vor, daß Stäbchen zerbrachen. Dies mag nicht verwundern, wenn man berücksichtigt, daß sie - bei ihrer schlanken Form - erheblichen Schub- und Scherkräften in der flexiblen rektalen Sonde ausgesetzt sind. Andere Kristalle zersprangen auch "spontan" beim Anfassen mit der Pinzette. Insgesamt gesehen war der Verlust durch Bruch in Anbetracht der häufigen und mechanisch auch belastenden Beanspruchung jedoch nicht als übermäßig anzusehen. Etwa gleich groß war der Verlust,der durch Verunreinigung der LiF-Stäbchen entstand.

2.2.2.2. Anbringung der Dosimeter und Meßstellen

Männliche Gonadendosis

Beim Infusionsurogramm (IVP) wurde das Plastikband, in das das Päckchen mit den fünf LiF-Kristallen eingeschweißt wurde, im "Schritt" (in Damm-Nähe) angebracht; es wurde proximal um den Oberschenkel gebunden, so daß die Dosimeter auf der Innenseite zu liegen kamen. Das Plastikband wurde so angebunden, daß die Dosimeter in Höhe der Hoden und im gleichen Abstand vom unteren Rand des Strahlenfeldes zu liegen kamen. Bei Mädchen wurden

die Bänder an analoger Stelle appliziert. Beim IVP wird in der Universitätskinderklinik München das Strahlenfeld grundsätzlich so eingeblendet, daß die Hoden außerhalb liegen. Für die durchgeführten Messungen wurden die Radiologieassistentinnen darauf hingewiesen, auch bei Mädchen darauf zu achten, daß das Strahlenfeld knapp oberhalb der Meßstelle begrenzt war.

Beim Miktionscystourethrogramm (MCU) wurden immer zwei Meßbänder - am linken und am rechten Bein - angebracht. Auch hier erfolgte die Messung sowohl bei Buben als auch bei Mädchen (obwohl es Unterschiede in der Untersuchungstechnik gibt, siehe 3.3.). Es wurde der Mittelwert aus beiden Messungen als der Gonadendosis entsprechend angenommen. Es zeigte sich jedoch, daß bei den Knaben die Werte zwischen rechtem und linken Band sehr differierten. Die Miktion unter Durchleuchtung erfolgt bei Knaben im seitlichen Strahlengang, das linke Meßband liegt dann röhrennah, das rechte Band ist verdeckt durch den Gonadenschutz und ergibt falsch niedrige Werte. Deshalb wurde das linke Meßband bei Knaben auch einzeln ausgewertet und so eine Gonadendosis ermittelt, die nur an Knaben und am strahlennahen Meßband bestimmt wurde.

Hinzuweisen ist ferner darauf, daß bei den Knaben grundsätzlich ein Bleigonadenschutz angelegt wird und so der ermittelte Wert eine fiktive Dosis ist, die sich ohne Schutz ergeben würde. Räumlich wäre eine Messung mit den TLDs im Gonadenschutz möglich. Beim IVP liegen die Dosiswerte jedoch unter der mit den TLDs meßbaren Schwelle. Bei IVP und MCU würden Messungen im Gonadenschutz die von oben aus dem Körper kommende Streustrahlung nicht richtig erfassen, da zum einen nur noch wenig davon durch die Skrotalhaut nach außen dringt, zum anderen die Strahlung so niederenergetisch ist, so daß es fraglich ist, ob diese von den TLDs richtig gemessen wird.

Weibliche Gonadendosis

Die Messung der weiblichen Gonadendosis erfolgte rektal. Hierzu wurden die Polyäthylensonden (Magensonden für Säuglinge) in folgender Weise präpariert: Jeweils vier LiF-Kristalle (Stäbchen) wurden an die Spitze der Sonden gesteckt, die Kristalle durch ein kleines Knäuel aus Alufolie am Verrutschen gehindert, die seitlichen Öffnungen mit Klebefilm verschlossen, dann wurde noch eine Versteifung des distalen Teils der Meßsonde mit Klebefilm durchgeführt, schließlich wurde noch eine Zentimetermarkierung angebracht.

Die Versteifung war notwendig, um ein Umknicken oder gar die Umkehr der Sonden beim Einführen in das Rektum zu verhindern. Die Sonde wurde noch mit einer Salbe gleitfähig gemacht und dann soweit eingeführt, daß die Meßkristalle - je mach Körpergröße - zwischen fünf und zwölf Zentimeter vom Sphinkter ani entfernt waren und so in topographischer Nähe der Ovarien zu liegen kamen. Die Meßsonde wurde mit einem Pflaster fixiert.

2.2.2.3. Auswertung der Dosimeter

Auswertegerät

Die Auswertung der LiF-Kristalle erfolgte mit dem "TL-Analyzer 2000" der Firma Harshaw, Cleveland/Ohio. Dieses Gerät besteht aus zwei Teilen, dem Auswerteteil 2000 A und dem Meßgerät 2000 B, das neben der direkten Anzeige des Photomultiplierstromes auch über eine digitale Anzeige des über die Meßzeit integrierten Stromes verfügt. Die Anzeige erfolgt in Ladungseinheiten (nCoul.). Für die Dosismessungen wurde immer der über

die Auswerteperiode (30 sec) integrierte Strom verwendet. Eine andere Methode zur Dosisbestimmung ist die Verwendung der maximalen Lichtintensität. Hierzu stand jedoch der dazu notwendige Maximalwertanzeiger nicht zur Verfügung.

Auswertemethode

Nach der Bestrahlung wurden die Dosimeter zunächst vorbehandelt ("vorgetempert"). Dazu wurden die Meßsonden - bestehend aus jeweils fünf oder vier Kristallen und in Alufolie verpackt - in einer Ausheizschale aus Stahl mit Aluminiumdeckel 15 Minuten lang einer Temperatur von 100°C unterworfen. Nach (7) dient dies dem Ziel, schnell abklingende Radiothermolumineszenzanteile, deren Anteil unter 100°C besonders groß ist, in definiertem Umfang auszulöschen.

Zum Auswerten wurden die Dosimeter direkt auf das Heizschälchen des Auswertegerätes gelegt. Das Heizschälchen wurde umgekehrt eingesetzt, so daß die Kristalle auf einer erhabenen Fläche lagen. Dies sollte der gleichmäßigeren Aufheizung dienen.

Die Auswerteperiode dauerte 30 sec, die Aufheiztemperatur 450°C. Es wurde der integrale Multiplierstrom innerhalb der 30 sec registriert.

Regenerierung

Zum Regenerieren der Dosimeter wurde ein Schnellverfahren angewende , bei dem die Dosimeter 15 min einer Temperatur von 350°C ausgesetzt werden.Nach dem Auskühlen wurden die Dosimeter wieder verpackt

und wiederverwendet. Für die gesamte Meßperiode wurde immer derselbe Satz Dosimeter verwendet.

Eichlicht

Die Auswerteapparatur ist mit einer Eichlichtquelle versehen, die eine Überprüfung der Konstanz der Anzeigeempfindlichkeit gestatten soll. Wir maßen regelmäßig das Eichlicht, das nach Angaben des Herstellers mit einer Co60 -Quelle ausgerüstet sein soll. Innerhalb eines Jahres fiel jedoch die Anzeige von 6500nCoul auf die Hälfte ab, der Verlauf des Abfalls war linear.

2.3. Patientengut

2.3.1. Allgemeines Patientengut

Die Strahlenexposition des Patienten in der pädiatrischen Röntgendiagnostik hat Schwerpunkte, die anders sind als in der Röntgendiagnostik bei Erwachsenen. Um einen Überblick über die Häufigkeiten der wichtigsten Röntgenuntersuchungen und den Anteil der dafür verwendeten Flächendosis zu erhalten, wurden für die Universitätskinderklinik München die entsprechenden Daten ausgewertet. Über einen Zeitraum von etwa fünf Monaten wurden alle über die elektronische Datenverarbeitung registrierten Untersuchungsdaten hinsichtlich der Häufigkeiten der verschiedenen Untersuchungen, des pro Untersuchungsart benötigten gesamten Flächendosisproduktes, des maximalen Flächenproduktes pro Einzeluntersuchung, der Anzahl der Aufnahmen pro Untersuchung und des Flächendosisproduktes pro Exposition ausgewertet.

Insgesamt wurden in diesem Zeitraum 8.094 Röntgenuntersuchungen mit einem Gesamtflächendosisprodukt von 284.300 Rcm^2 und einem mittleren Flächendosisprodukt von 35 Rcm^2 pro Untersuchung durchgeführt. Die Zahl der Expositionen betrug dabei 19.010,das heißt, pro Untersuchung wurden 2,35 Expositionen durchgeführt. Das Flächendosisprodukt pro Untersuchung betrug 14,96 Rcm^2.

In den Abb. 2.1. und 2.2. sind die häufigsten und hinsichtlich der benötigten Flächendosis bedeutungsvollsten Röntgenaufnahmen dargestellt. In Abb. 2.1. ist die relative Häufigkeit der verschiedenen Röntgenaufnahmen - bezogen auf alle in dem Zeitraum registrierten Aufnahmen - wiedergegeben. Am häufigsten sind Thoraxaufnahmen mit 16,7%, gefolgt von Schädel- und Abdomenaufnahmen mit jeweils 8% und Aufnahmen der Hand mit 4,7%.

In Abb. 2.2. sind die prozentualen Anteile derselben Röntgenaufnahmen am gesamten, in diesem Zeitraum registrierten Flächendosisprodukt wiedergegeben. Den größten Anteil am Flächendosisprodukt haben die Schädelaufnahmen mit 21,8%, gefolgt von den Abdomenaufnahmen mit 18,4%. Die Thoraxaufnahmen beanspruchen 5,9%, die Handaufnahmen 5,2% vom Gesamtflächendosisprodukt.

Neben den Häufigkeiten der einzelnen Röntgenaufnahmen in der Universitätskinderklinik München wird aus dem Vergleich der beiden Abbildungen außerdem deutlich, welches Gewicht die einzelnen Untersuchungen hinsichtlich der Patientenexposition besitzen. So sind die Aufnahmen der Thoraxorgane mehr als doppelt so häufig wie Aufnahmen des Abdomens, dennoch benötigen die Abdomenaufnahmen mehr als dreimal soviel Flächendosis. Ähnliche Anteile wie die Abdomenaufnahmen haben die Schädelaufnahmen.

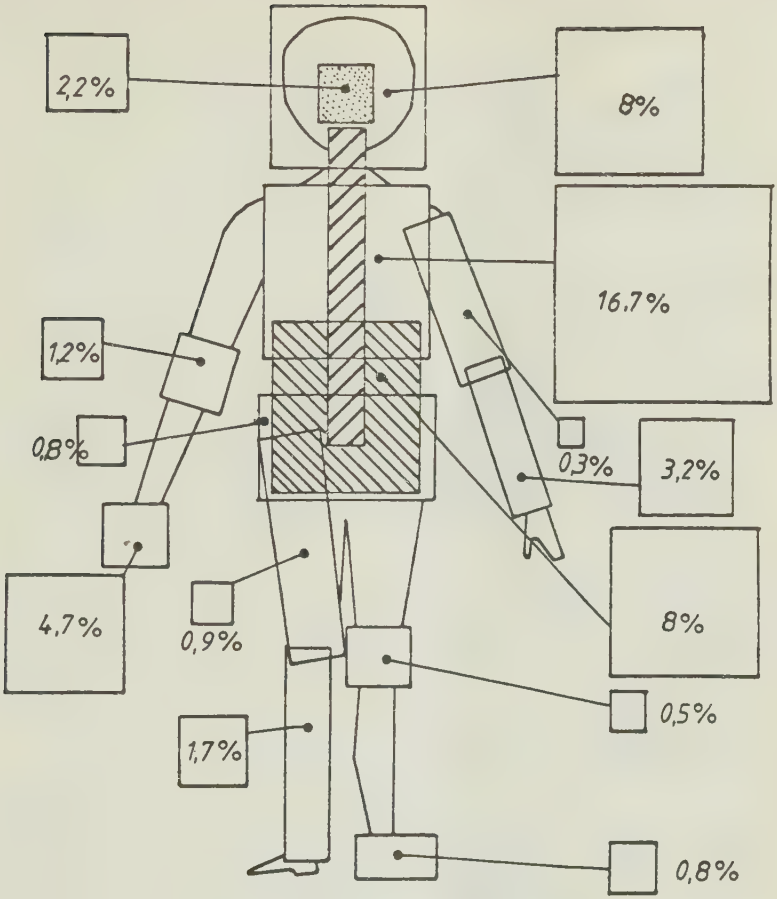


Abb.2.1.:Häufigkeiten von Röntgenaufnahmen in der Universitätskinderklinik München. Von links oben nach unten Aufnahmen von:Nasennebenhöhlen,Wirbelsäule,Ellenbogen,Becken,Hand, Oberschenkel,Unterschenkel. Rechts:Schädel,Thorax,Oberarm, Unterarm, Abdomen,Knie und Fuß. Angegeben sind die Anteile dieser Aufnahmen an der gesamten Aufnahmezahl.

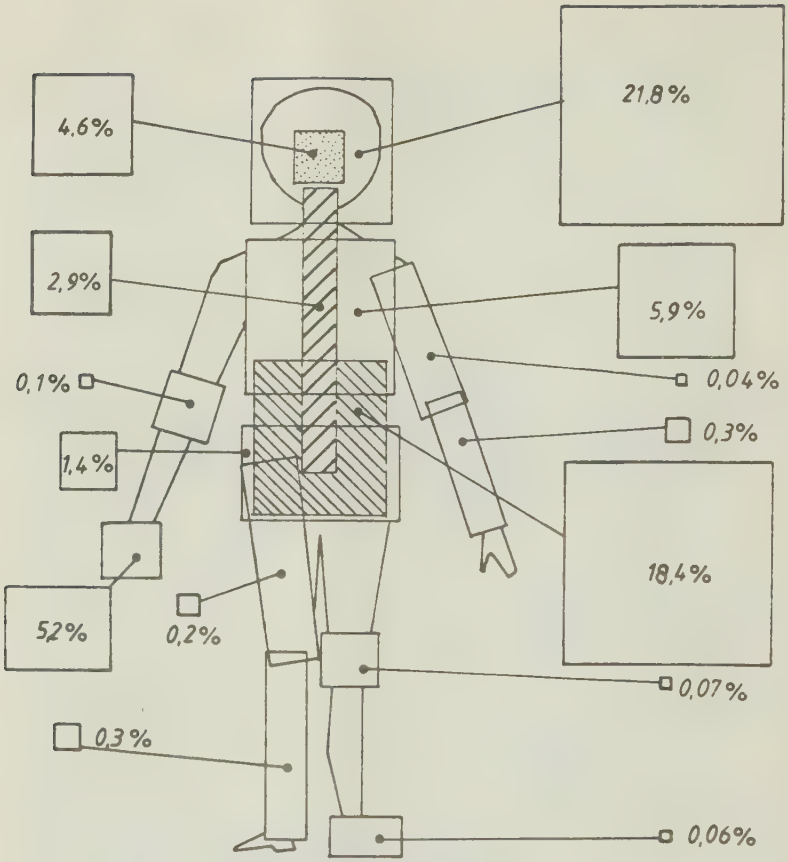


Abb.2.2.: Anteile am Flächendosisprodukt. Angegeben sind die prozentualen Anteile am gesamten, in einem bestimmten Zeitraum registrierten Flächendosisprodukt in der Universitätskinderklinik für die gleichen Organe wie in Abb.2.1.

Die Extremitätenaufnahmen sind unterdurchschnittlich am Gesamtflächendosisprodukt beteiligt. So sind 3,2% aller Röntgenaufnahmen Unterarmaufnahmen, diese beanspruchen aber nur 0,3% vom Gesamtflächendosisprodukt. Eine Ausnahme hiervon machen die Handaufnahmen. Ihre Häufigkeit beträgt 4,7%, ihr Anteil am Flächendosisprodukt 5,2%. Da die Handaufnahme zur Knochenalterbestimmung ohne Verstärkerfolie angefertigt wird, ist die Dosis hier relativ hoch.

Berücksichtigt man neben Häufigkeit und Flächendosisprodukt auch noch die Gonadennähe der untersuchten Organe, so ergibt sich beim vorliegenden Patientengut, daß die Aufnahmen des Abdomens für die Gonadendosis die größte Rolle spielen.

Für wichtige Durchleuchtungsuntersuchungen wurden ebenfalls deren Häufigkeit und prozentualer Anteil am gesamten Flächendosisprodukt aller Durchleuchtungsuntersuchungen bestimmt und in Abb. 2.3. dargestellt. Von 8.094 registrierten Röntgenuntersuchungen waren 957 Durchleuchtungsuntersuchungen (12%), vom gesamten registrierten Flächendosisprodukt benötigten die Durchtungsuntersuchungen 59.892 Rcm^2 (21%).

In Abb. 2.3. sind auf der linken Seite die Häufigkeiten wiedergegeben: Thoraxdurchleuchtung (1,5%), obere Magen-Darm-Passage und Ösophagus-Breischluck (18%), ganze Magen-Darm-Passage und Kolon-Untersuchungen(12%), Miktionscystourethrographie (49%) und Herniographie(4,6%). Die Prozentangaben beziehen sich auf die Anzahl aller Durchleuchtungsuntersuchungen.

In Abb. 2.3. sind rechts die Anteile dieser Durchleuchtungsuntersuchungen am gesamten, für alle Durchleuchtungsuntersuchungen registrierten Flächendosisprodukt wiedergegeben: Durchleuchtung der Thoraxorgane 0,8%,

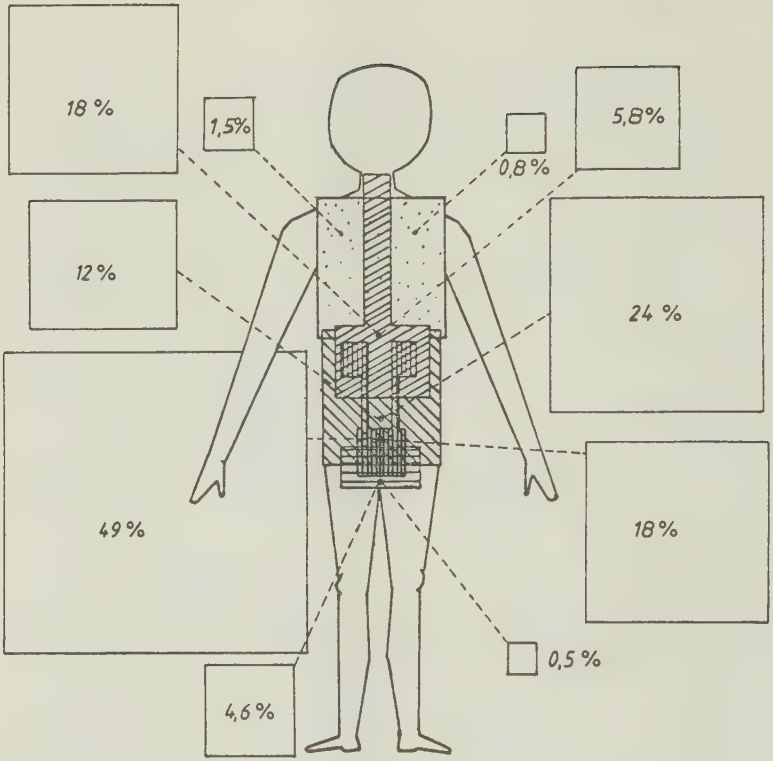


Abb.2.3.: Häufigkeiten und Anteile am Flächendosisprodukt von Durchleuchtungsuntersuchungen. Links sind die Häufigkeiten, rechts die Anteile am gesamten über einen bestimmten Zeitraum registrierten Flächendosisprodukt von Durchleuchtungsuntersuchungen in der Universitätskinderklinik München angegeben. Von oben nach unten:Thorax-DL, Ösophagus-DL zusammen mit oberer MDP, ganze MDP zusammen mit Colon-Untersuchungen, MCU und Herniographie.

Ösophagusbreischluck und obere Magen-Darm-Passage 5,8%, ganze Magen-Darm-Passage und retrograde Dickdarmuntersuchungen 24%. Die Miktionscystourethrogramme benötigen 18%, die Herniographie 0,5%.

Jede zweite Durchleuchtungsuntersuchung ist ein Miktionscystourethrogramm (MCU), dennoch benötigen alle MCUs weniger Flächendosis als die Darmuntersuchungen, deren Häufigkeit nur 12% ausmacht.

Bei der Herniographie besteht die größe Diskrepanz zwischen Häufigkeit (4,6%) und Anteil am Flächendosisprodukt (0,5%). Es wird hier also nur ein Neuntel der durchschnittlichen Flächendosis einer Durchleuchtungsuntersuchung benötigt.

Insgesamt ergibt sich, daß die beiden urologischen Standarduntersuchungen Urogramm und Miktionscystourethrogramm hinsichtlich ihrer Häufigkeit und der pro Untersuchung benötigten Dosis beim vorliegenden Patientengut eine große Rolle spielen. Für die Strahlenexposition des einzelnen Patienten ist überdies zu berücksichtigen, daß im allgemeinen beide Röntgenuntersuchungen (dazu noch das Radioisotopennephrogramm) durchgeführt werden. Ferner sind gerade bei urologischen Fragestellungen Kontrolluntersuchungen über lange Zeiträume hinweg notwendig. Die kumulative individuelle Dosis kann daher hoch sein. Auf dieses Problem kann jedoch hier nicht eingegangen werden.

2.3.2. Urologisches Patientengut

An insgesamt 190 Kindern im Alter zwischen drei Monaten und 15 Jahren, die zur Diagnostik der Nieren und ableitenden Harnwege in die Röntgenabteilung der Universitätskinderklinik München kamen, wurden Gonadendosen gemessen. Der größere Teil der Kinder kam ambulant, entweder über die verschiedenen Ambulanzen der Klinik oder wurde von niedergelassenen Kinderärzten direkt überwiesen. Der kleinere Teil war in stationärer Behandlung der Klinik.

Da die weibliche Gonadendosis rektal bestimmt wurde, war es auch möglich, an Knaben eine "weibliche"Dosis zu messen. Umgekehrt wurde auch an Mädchen eine "männliche" Gonadendosis bestimmt. Bei beiden Geschlechtern wurde an analogen anatomischen Bezugspunkten gemessen. Da das IVP bei Knaben und Mädchen identisch durchgeführt wird, scheint diese Methode hier zulässig. Beim MCU gibt es jedoch geschlechtsabhängige Unterschiede des Bildausschnittes, worauf später noch näher eingegangen wird. Hier ist diese Meßmethode also nur beschränkt gültig,und das Ergebnis muß entsprechend interpretiert werden.

Bei 112 Infusionspyelogrammen wurde die männliche, bei 101 MCUs die weibliche Gonadendosis bestimmt.

Bei fast allen Kindern wurde sowohl die männliche ("im Schritt") wie die weibliche (rektale) Dosis gemessen. Die niedrigere Zahl der weiblichen (rektalen) Messungen ergibt sich dadurch, daß einige Messungen aus technischen Gründen nicht auswertbar waren. Ursachen hierfür waren eine auf dem Röntgenbild feststellbare falsche Lage der Meßsonde,Herauspressen der Sonde bei Säuglingen und Kleinkindern, Verunreinigung der Kristalle.

Bei einem Drittel der Patienten wurde an einer Person sowohl die Dosis für das IVP wie auch die für das MCU bestimmt, bei den anderen zwei Dritteln wurde nur bei einer Untersuchung eine Messung durchgeführt.

Der jüngste Patient war drei Monate alt, der älteste fünfzehn Jahre. Zwischen den Altersstufen zwei und elf Jahre liegen die meisten Untersuchungen. In dem genannten Bereich liegt keine besondere Altersverteilung vor; etwas überdurchschnittlich häufig sind die Fünfjährigen bei den Untersuchungen vertreten (Abb. 3.2., 3.5., 3.9., 3.12).

3. Ergebnisse

3.1. Routinemäßig erfaßte Daten

Die Untersuchungsdaten, die bei allen Patienten konstant waren, wurden schon in Abschnitt 2 bei der Beschreibung der Untersuchungstechniken aufgeführt. Im folgenden werden die Durchschnittswerte für die im Untersuchungszeitraum gemessenen variablen Größen wie Aufnahmezahl und Durchleuchtungszeit angegeben.

Beim IVP betrug die Aufnahmezahl im Durchschnitt 2,93, nach der Leeraufnahme wurden also im Mittel noch 1,93 Aufnahmen gemacht. Der Zentralwert beträgt 2,43 (Leeraufnahme + 1,43). In 76% der Fälle wurden nach der Leeraufnahme noch zwei weitere Aufnahmen angefertigt. Wesentlich mehr Aufnahmen werden bei pathologischen Befunden wie einer Obstruktion der Harnwege angefertigt.

Beim MCU wurden durchschnittlich 4,9 Zielaufnahmen im Format 6 x 9 cm angefertigt. In knapp der Hälfte der Fälle (48%) wurden vier Zielaufnahmen angefertigt, in 23% waren 3 Aufnahmen ausreichend und beim Rest (29%) mehr.

Die MCUs mit normalem Befund wurden daraufhin untersucht, ob Unterschiede zwischen den untersuchenden Ärzten hinsichtlich der Aufnahmezahl bestanden. Untersucher I machte 3,2, Untersucher II 3,8 und Untersucher III durchschnittlich 4.0 Zielaufnahmen bei einem unkomplizierten MCU. Der Unterschied zwischen Untersucher I und III ist signifikant bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,1% (t-Test). Der Unter-

schied zwischen Untersucher II (U II) und Untersucher III (U III) war bei der vorliegenden Stichprobe nicht signifikant, ebensowenig wie zwischen U I und U II. Wegen der kleinen Stichprobe (insgesamt 25 Fälle) wurden die Werte noch mit dem U-Test nach WILCOXIN verglichen. Bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen U I und U II, sowie zwischen U I und U III, nicht dagegen zwischen U II und U III. Beim Untersucher I handelt es sich um einen Arzt mit langjähriger kinderradiologischer Erfahrung, Untersucher II und III sind Ärzte in relativ kurzer kinderradiologischer Ausbildung.

Die Durchleuchtungszeiten lagen zwischen 24 und 325 sec, die mittlere Durchleuchtungszeit betrug 111 sec, der Zentralwert 87 sec. Die drei Untersucher unterschieden sich in folgender Weise in der mittleren Durchleuchtungszeit, die sie für ein MCU mit normalem Befund benötigten: U I = 53 sec, U II = 72 sec, U III = 80 sec. Wegen der starken Streuung der Einzelwerte und der kleinen Stichprobe sind die Unterschiede nicht signifikant (t-Test, U-Test nach WILCOXIN).

Das Flächendosisprodukt für ein Miktionscystourethrogramm beträgt in der Universitätskinderklinik München 22,5 Rcm^2. Dies ist der mittlere Wert aus 471 MCUs. Um bei den MCUs, bei denen die Gonadendosis gemessen wurde, Unterschiede zwischen den Untersuchern hinsichtlich der benötigten Flächendosis festzustellen, war die Zahl der auswertbaren Daten zu gering.

Einfluß der Kompression beim IVP auf das Flächendosisprodukt

Wie schon bei der Beschreibung der Technik des IVPs dargelegt wurde, wird außer bei der Mittelaufnahme bei allen Aufnahmen das Abdomen komprimiert. Dies geschieht, um die überlagernde, das Bild störende Luft wegzudrücken, um eine Bewegungsunschärfe der Nieren zu verhindern und um das durchstrahlte Volumen, damit die Dosis zu verringern. Um den letztgenannten Effekt nachzuweisen, wurde von 25 IVPs jeweils der Mittelwert des Flächendosisproduktes der Leer-

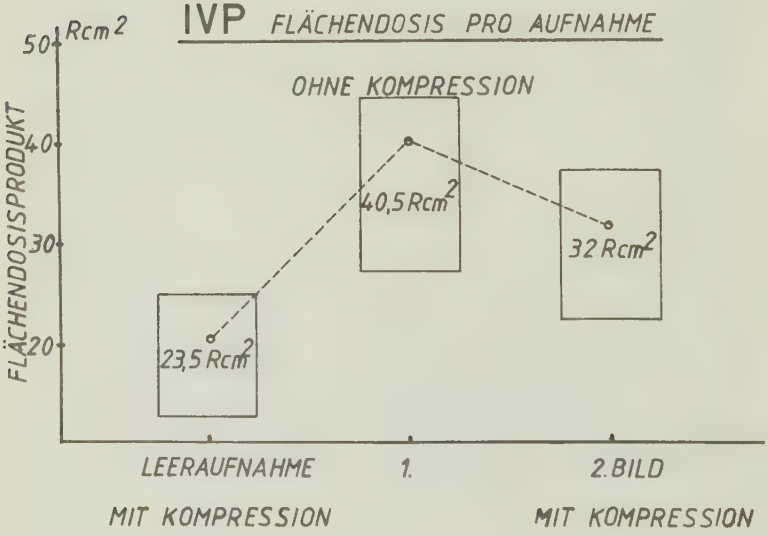


Abb.3.1.: IVP,Flächendosis pro Aufnahme. Eingetragen sind die Mittelwerte der Flächendosisprodukte aus 25 IVPs für die Leeraufnahme, das Mittelbild und das Füllungsbild(2.Bild)

aufnahmen, der Mittelbilder und der zweiten Füllungsbilder errechnet. Bei normalem Ausscheidungsvermögen und Abflußbedingungen der Nieren sind die Nierenhohlsysteme zum Zeitpunkt der zweiten Aufnahme am stärksten mit Kontrastmittel gefüllt. Damit müßte bei dieser Aufnahme auch die größte Flächendosis benötigt werden. Der Vergleich (Abb. 3.1. zeigt aber, daß für die Leeraufnahme durchschnittlich 23,5 Rcm^2, für das Mittelbild 40,5 Rcm^2 und für das zweite Bild 32 Rcm^2 benötigt werden. Für das Mittelbild, bei dem nicht komprimiert wird, wird also die größte Dosis benötigt. Dieser Zusammenhang ist in Abb. 3.1. dargestellt. Die Standardabweichung für das Flächendosisprodukt bei der Leeraufnahme beträgt 12,8 Rcm^2, für das Mittelbild 22 Rcm^2 und für das zweite Füllungsbild 18 Rcm^2. Die Unterschiede zwischen den Werten wurden mit dem t-Test für verbundene Stichproben abgesichert. Die Flächendosiswerte unterscheiden sich signifikant mit einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von 99,5%.

Geschlechtsverhältnis

Anhand der Daten über das Patientengut an der Universitätskinderklinik München (siehe 2.3.1.) wurde auch das Geschlechtsverhältnis der Patienten, die urologischen Röntgenuntersuchungen unterzogen wurden, bestimmt. Von 433 IVPs wurden 62% bei Mädchen und 38% bei Knaben angefertigt. Beim MCU ergab sich ein Geschlechtsverhältnis Mädchen zu Knaben von 62 : 38 (n = 471).

3.2. Ergebnisse der TLD-Messungen

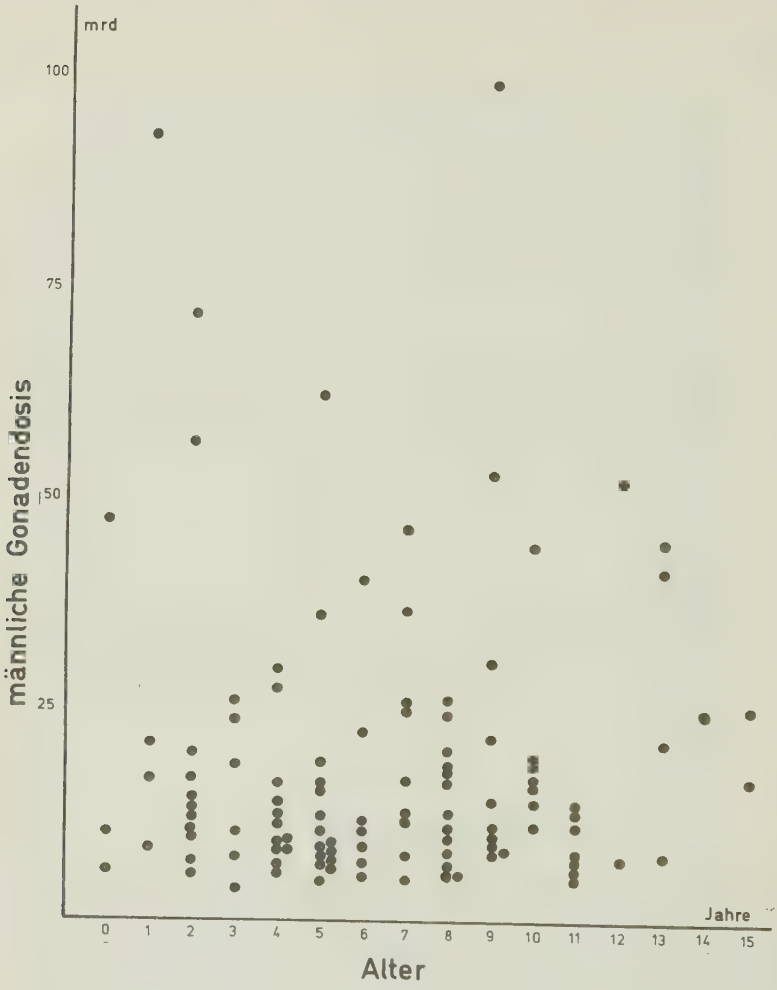


Abb.3.2.: männliche Gonadendosis pro IVP. 112 Einzelmessungen mit Thermolumineszenzdosimetern

Die Ergebnisse aus den direkten Messungen der Gonadendosis nach der beschriebenen Methode sind in den Abbildungen dargestellt.

IVP, männliche Gonadendosis

Aus den 112 verwertbaren Einzelmessungen ergab sich für die männliche Gonadendosis ein Mittelwert von 18,7 mrd und ein Zentralwert von 12,5 mrd. In Abb.3.2. sind die Einzelwerte nach dem Alter aufgetragen. Es wird deutlich, daß keine Abhängigkeit der Dosis vom Alter besteht. Einzelne Werte weichen stark vom übrigen Meßkollektiv ab; hierauf wird später noch eingegangen.

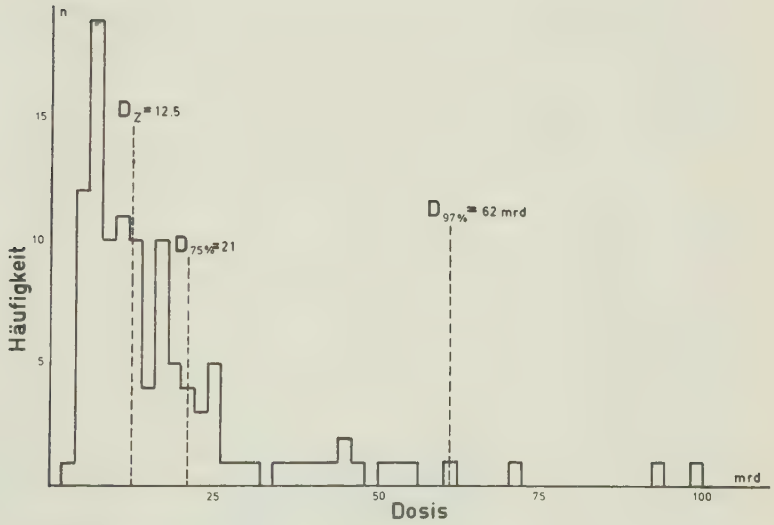


Abb. 3.3.: Häufigkeitsverteilung der männlichen Gonadendosis beim IVP. 112 Einzelmessungen. Zentralwert D_z 12,5 mrd, 75.Perzentile 21 mrd und 97. Perzentile 62 mrd.

Abb. 3.3. zeigt die Häufigkeitsverteilung der einzelnen Werte der männlichen Gonadendosis. Um zu einer geeigneten Darstellung zu gelangen, wurden jeweils zwei mrd zu einer Klasse zusammengefaßt. Eingetragen wurden der Zentralwert D_z= 12,5 mrd sowie die Perzentilen $D_{75\%}$= 21 mrd und $D_{97\%}$= 62 mrd. Die meisten Werte liegen in der Klasse 7 - 8 mrd mit n=19 Fällen. Der häufigste Wert liegt also deutlich unter dem Zentralwert, was als Maß für die Schiefe der Verteilung gelten kann.

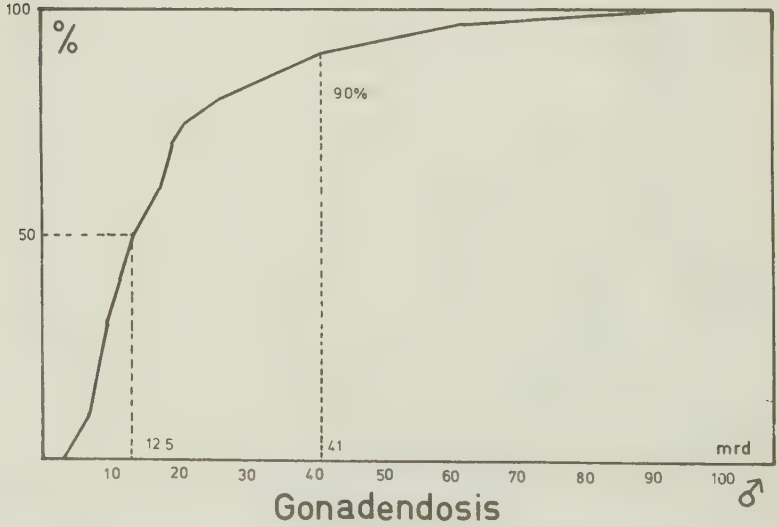


Abb. 3.4.: Relative Summenhäufigkeit der männlichen Gonadendosis beim IVP. 50 % aller Werte sind größer, 50 % aller Werte sind kleiner als 12,5 mrd. 90% sind kleiner, 10 % größer als 41 mrd.

In Abb. 3.4. ist die Kurve der relativen kumulierten Häufigkeit dargestellt. Sie zeigt bis zur 90.Perzentile einen steilen Verlauf, bei 90% der IVPs überstieg die männliche Gonadendosis den Wert von 41 mrd nicht.

IVP, weibliche Gonadendosis

In Abb. 3.5. sind die Werte für die weibliche Gonadendosis beim IVP dargestellt. Die 102 Messungen - die rektal durchgeführt wurden - ergaben einen Mittelwert von 49,8 mrd und einen Zentralwert von 40 mrd. Auch hier gab es einzelne Ausreißer, die extrem von den Durchschnittswerten abweichen. Für alle Altersklassen ergaben sich ähnlich hohe Werte.

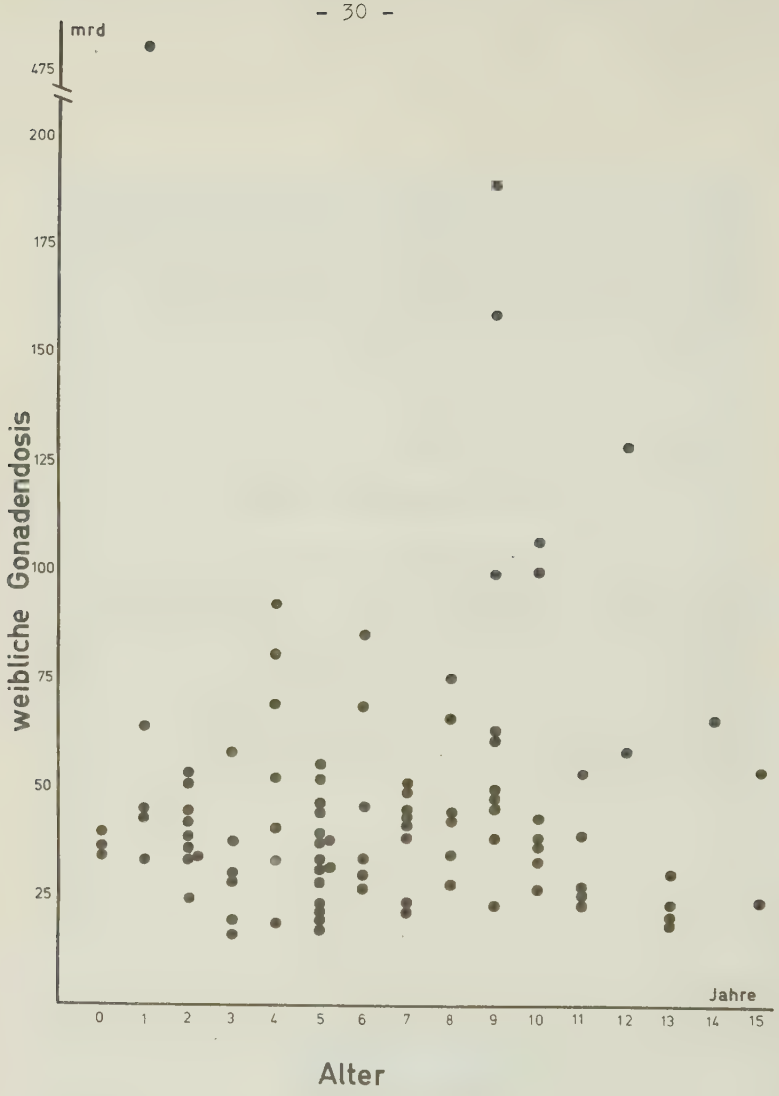


Abb.3.5.:weibliche Gonadendosis beim IVP. 102 Einzelmessungen mit Thermolumineszenzdosimetern (rektale Messung).

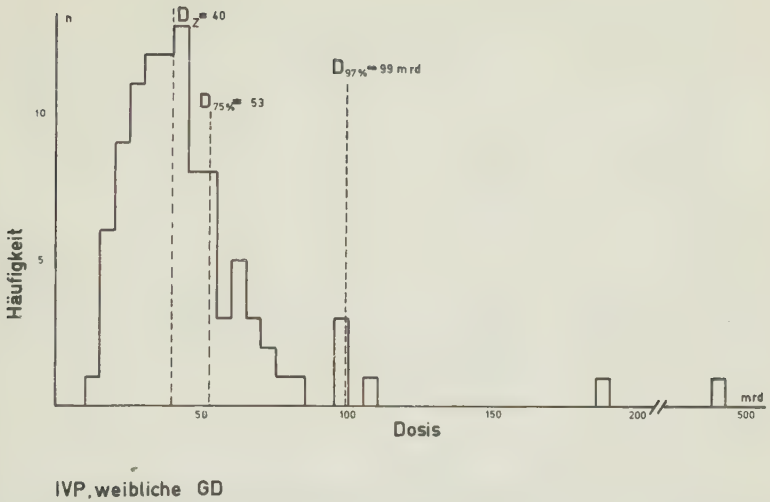


Abb. 3.6.: Häufigkeitsverteilung der weiblichen Gonadendosis beim IVP. 102 Einzelmessungen. Zentralwert D_z 31,5 mrd, die 75. Perzentile 56 mrd, die 97. Perzentile 99 mrd.

In Abb. 3.6. ist die Häufigkeitsverteilung der weiblichen Gonadendosis beim IVP dargestellt. Der Zentralwert liegt bei 31,5 mrd (D_z), die Perzentile $D_{75\%}$ bei 56 mrd und die Perzentile $D_{97\%}$ bei 99 mrd. Die Klassenbreite beträgt 4 mrd, der häufigste Wert liegt in der Klasse 16 bis 20 mrd, also noch weit unter dem Zentralwert.

Aus Abb.3.7. ist die relative Summenhäufigkeit der weiblichen Gonadendosis beim IVP ersichtlich. Bei 50% der IVPs war die weibliche Gonadendosis kleiner oder gleich 40 mrd, in 90% der Fälle wurde 73% mrd nicht überschritten.

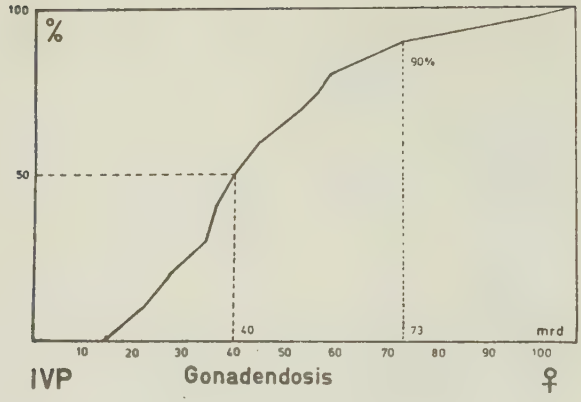


Abb.3.7.:Relative Summenhäufigkeit der weiblichen Gonadendosis beim IVP,rektale Messung. 50% aller Werte sind kleiner, 50% größer als 41 mrd. 90% sind kleiner,10% größer als 73 mrd.

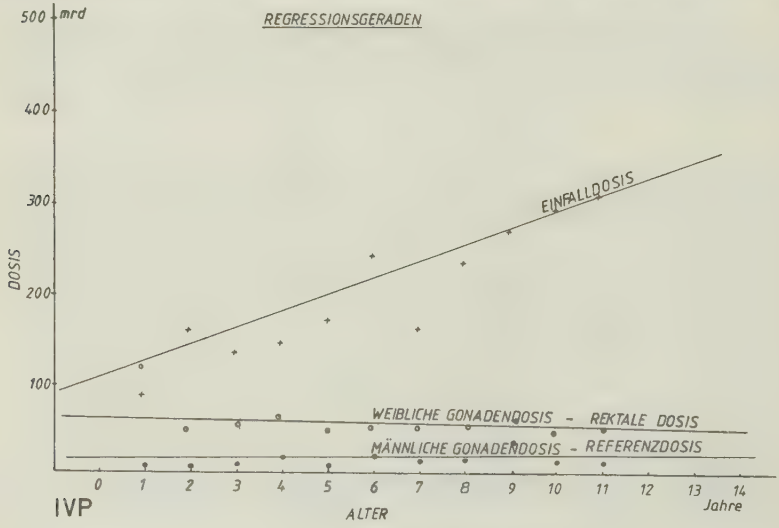


Abb.3.8.:Altersabhängigkeit der beim IVP gemessenen Dosen. Eingetragen sind die Regressionsgeraden und die Mittelwerte der Einfalldosis, der "männlichen" und der "weiblichen" Gonadendosis.

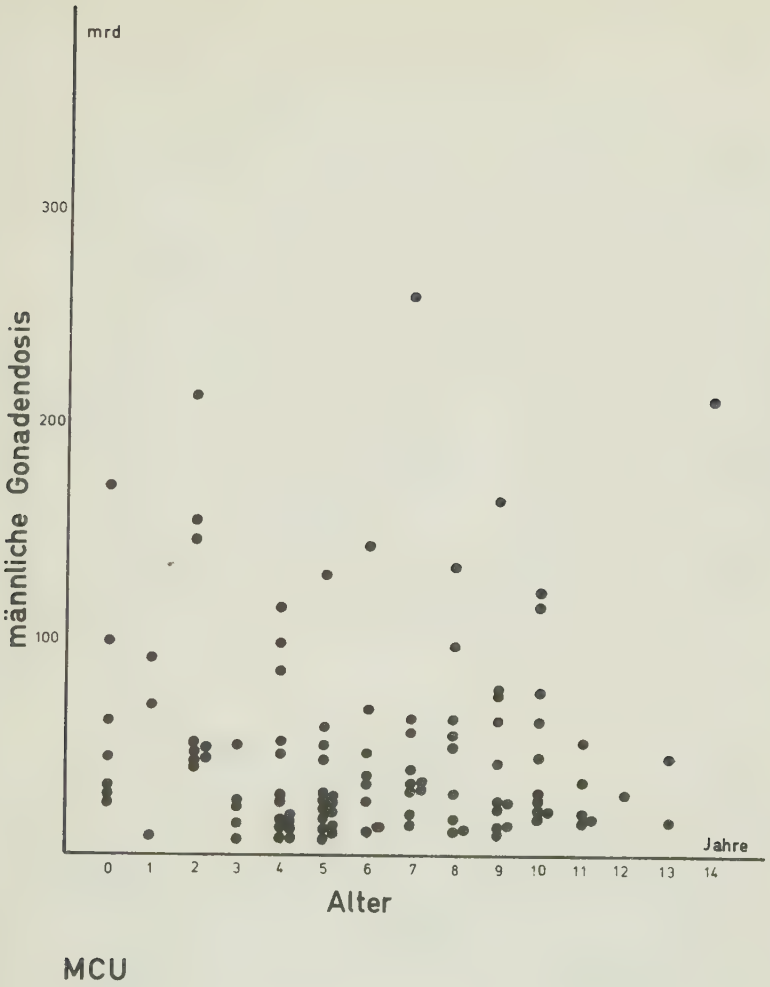


Abb.3.9.:"männliche" Gonadendosis pro MCU. Einzelwerte aus 109 Messungen an Knaben und Mädchen. Die an Mädchen ermittelten Werte sind aus meßtechnischen Gründen falsch niedrig.

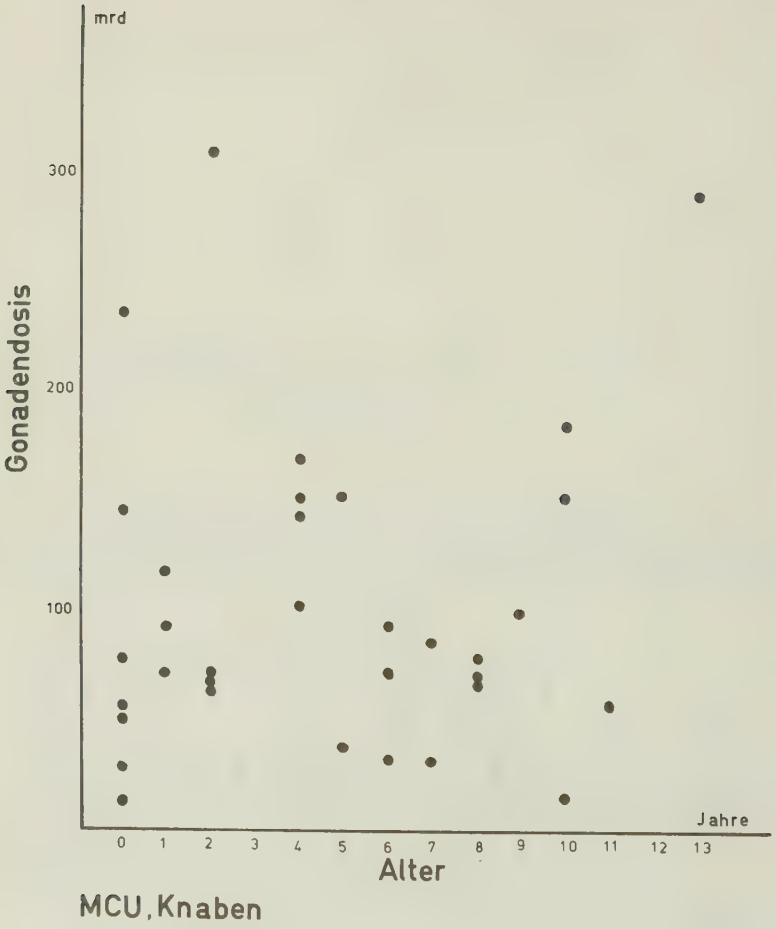


Abb.3.10.: männliche Gonadendosis pro MCU. Einzelwerte aus 36 Messungen nur an Knaben.

Altersabhängigkeit der Dosis beim IVP

Aus den Abb.3.2. und 3.5. sind die für die männliche und weibliche Gonadendosis gemessenen Einzelwerte ersichtlich. Die Verteilung der einzelnen Werte läßt erkennen, daß diese mit dem Alter nicht ansteigen. Um dies zu prüfen, wurden die Regressionsgeraden für die Abhängigkeit der Dosis vom Alter berechnet. In Abb. 3.8. ist neben den Regressionsgeraden, die die Beziehung der weiblichen - rektal gemessenen - und der männlichen Gonadendosis zum Alter zeigen, auch die Regression vom Alter auf die Einfalldosis dargestellt. Ferner sind die Mittelwerte für die einzelnen Altersstufen eingetragen.

Der Korrelationskoeffizient zwischen Alter und männlicher Dosis beträgt +0,6 , zwischen Alter und rektaler Dosis - 0,01 und zwischen Einfalldosis und Alter +0,5.

Es besteht also nur bei der Einfalldosis ein deutliches Ansteigen der Dosis mit zunehmendem Alter.

MCU, männliche Gonadendosis

Die Werte der einzelnen Messungen der männlichen Gonadendosis beim MCU am Referenzpunkt "im Schritt" sind aus Abb.3.9. ersichtlich. Sie geben die Mittelwerte aus den beiden Meßpunkten am linken und rechten Oberschenkel wieder. Bei der Auswertung der Messungen zeigte sich jedoch, daß ein signifikanter Unterschied zwischen den an Knaben und den an Mädchen gemessenen "männlichen" Strahlendosen besteht. Wie später (im Abschnitt 3.3.) gezeigt wird, ist die Messung der "männlichen" Gonadendosis bei Mädchen unter dieser Voraussetzung nicht zulässig. Es würden sich folgende Dosiswerte ergeben (aus 109 Messungen): Mittelwert = 49,4 mrd, Zentralwert 31,5 mrd.

Einen erheblich größeren Anspruch auf Richtigkeit haben dagegen die nur an Knaben für die männliche Gonadendosis ermittelten Werte (Abb.3.10 und 3.11.). Hier wurde nur das strahlennahe linke Meßband berücksichtigt. Aus den 36 Messungen ergab sich ein Mittelwert von 115 mrd und ein Zentralwert von 78 mrd. In Abb.3.11. ist die Summenkurve der an Knaben gemessenen Dosis gestrichelt eingezeichnet. 85% der Werte sind kleiner oder gleich 150 mrd. Für die Darstellung der absoluten Häufigkeit war die Anzahl der Messungen an Knaben zu gering.

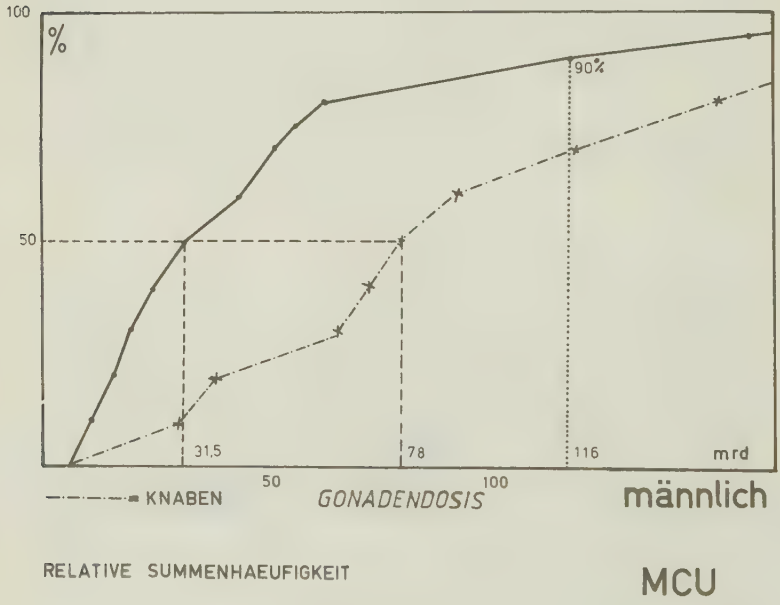


Abb.3.11.:Relative Summenhäufigkeit der männlichen Gonadendosis beim MCU. Durchgehende Linie:aus allen Messungen, gestrichelte Linie:nur an Knaben gemessen.

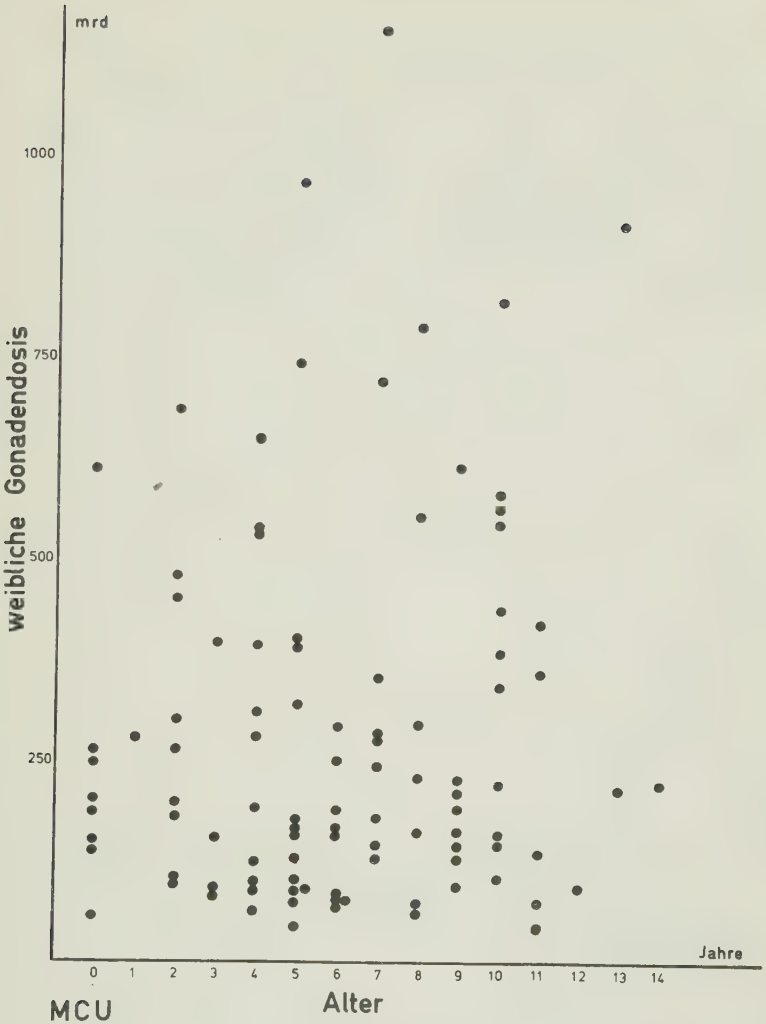
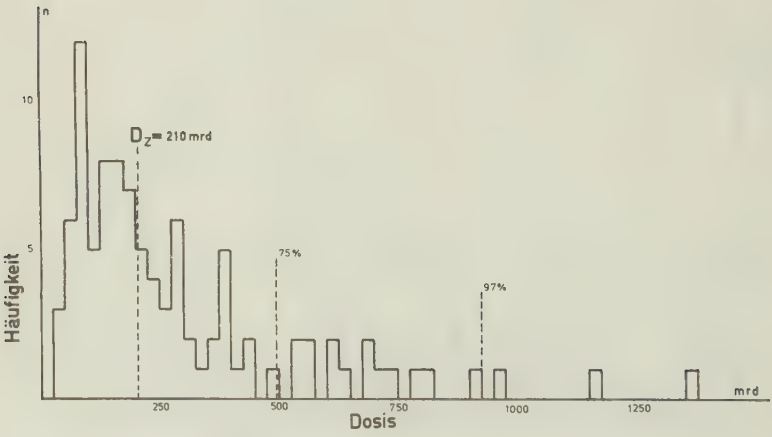


Abb.3.12.: weibliche Gonadendosis pro MCU (rektale Messung). Einzelwerte aus 101 Messungen.

MCU, weibliche Gonadendosis

In Abb.3.12. sind die Werte der weiblichen Gonadendosis beim MCU dargestellt. Die Werte ergeben einen Mittelwert von 297 mrd und einen Zentralwert von 210 mrd. Die Werte streuen über einen sehr großen Bereich. Es besteht keine Abhängigkeit der Dosis vom Alter. Allerdings gibt es im Alterbereich von 12 bis 14 Jahren nur wenige Meßwerte, so daß hier ein Ansteigen der Dosis mit dem Alter nicht ausgeschlossen werden kann.



MCU,weibliche GD

Abb.3.13.: Häufigkeitsverteilung der weiblichen Gonadendosis beim MCU. Aus 101 Einzelmessungen. Zentralwert D_z bei 210 mrd, 75.Perzentile 495 mrd, 97.Perzentile 925 mrd.

Aus Abb. 3.13. ist die Häufigkeitsverteilung der für die weibliche Gonadendosis gefundenen Werte ersichtlich. Es wurden Klassen mit einer Breite von 25 mrd gebildet. 50% aller Werte sind kleiner oder größer als der Zentralwert D_z=210 mrd. 75% aller Werte übersteigen 495 mrd nicht, 97% aller Werte 925 mrd nicht.Es gibt einige stark nach oben abweichende Werte, der höchste gemessene Wert für die weibliche Gonadendosis bei einem MCU lag bei 1354 mrd. Die meisten Werte liegen in der Klasse zwischen 76 und 100 mrd.

Aus der Abbildung der relativen Summenhäufigkeit wird ein flacher Verlauf der Summenkurve oberhalb des Zentralwertes deutlich. Während 50% aller Werte 210 mrd nicht übersteigen, liegen zwischen 210 und 700 mrd immerhin 40% aller Werte. Bei jedem zehnten gemessenen MCU lag die Dosis noch darüber!

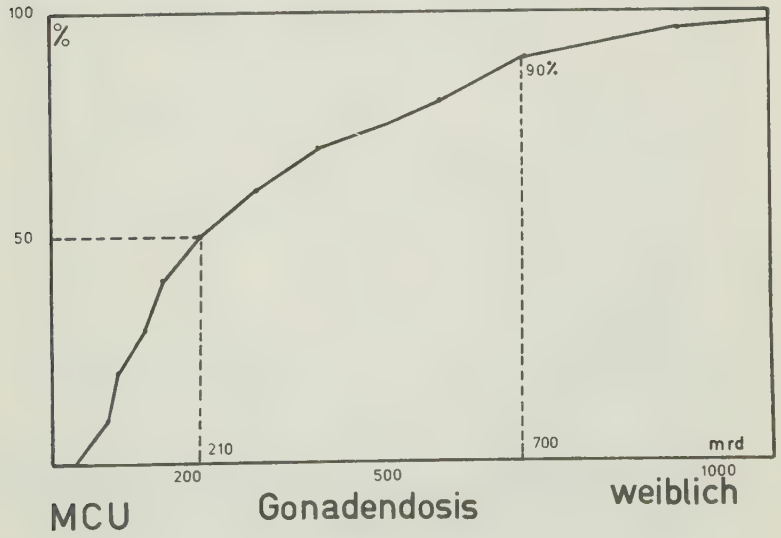


Abb.3.14.:Relative Summenhäufigkeit der weiblichen Gonadendosis beim MCU(rektale Messung).50% aller Werte sind kleiner, 50% aller Werte größer als 210 mrd.90% sind kleiner, 10% größer als 700 mrd.

TABELLE DOSISWERTE		
I V P	MÄNNL. GD	WEIBL. GD
Mittelwert	19 mrd	50 mrd
Anzahl der Messungen	112	102
Zentralwert	13 mrd	40 mrd
häufigster Wert (Klassenmitte)	7.5mrd	18 mrd
niedrigste gemessene Einzeldosis	4 mrd	15 mrd
höchste gemessene Einzeldosis	99 mrd	485 mrd
M C U	MÄNNL. GD	WEIBL. GD
Mittelwert	115 mrd	297 mrd
Anzahl der Messungen	36	101
Zentralwert	78 mrd	210 mrd
häufigster Wert (Klassenmitte)	---	87.5mrd
niedrigste gemessene Einzeldosis	9 mrd	41 mrd
höchste gemessene Einzeldosis	308 mrd	1354 mrd

Tab.3.1.: Dosiswerte. Für die männliche Gonadendosis beim MCU konnte wegen der geringeren Anzahl an Meßwerten kein häufigster Wert bestimmt werden.

Untersuchung einzelner Extremwerte

Anhand aller vorliegender Untersuchungsdaten wird versucht, einzelne Fälle von extrem hoher Expositionsdosis zu erklären.

IVP,Fall 1:
Referenzdosis 93 mrd,rektale Dosis 485 mrd, Einfalldosis 1019 mR (TLD im Strahlengang).
Mädchen,18 Monate, Gewicht 10 kg, Größe 77 cm,3 Aufnahmen.
Alle gemessenen Dosiswerte sind auffallend hoch.
Ursache: Eine Fehlexposition (überschwärzter Film).

IVP, Fall 2:
Referenzdosis 99 mrd, rektale Dosis 188 mrd, Einfalldosis 306 mR (TLD).
Knabe, 10 Jahre, 3 Aufnahmen, Diagnose Meningomyelozele
Referenz- und rektale Dosis überdurchschnittlich hoch, Einfalldosis eher niedrig.
Ursache: veränderte anatomische Beckenverhältnisse, die die Beziehungen der Meßpunkte zum Strahlengang verändern. Auch an eine nicht registrierte Fehlexposition muß gedacht werden. Wahrscheinlich ist die Einfalldosis nicht bei allen Aufnahmen gemessen worden.

MCU, Fall1:

Referenzdosis 308 mrd, rektale Dosis 217 mrd, Flächendosisprodukt 214 Rcm^2.
Knabe, 14 Jahre, Durchleuchtungszeit 74 sec, 4 Zielaufnahmen. Auffallend ist die hohe Referenzdosis.
Ursache:Der Junge hatte mit 14 Jahren Erwachsenenproportionen. Es ist der einzige Wert, der an einem Knaben in diesem Alter gemessen wurde. Wahrscheinlich ist es ein normaler Wert für die männliche Gonadendosis bei dieser Körpergröße.

MCU. Fall 2:

Referenzdosis 309 mrd, rektale Dosis 97 mrd, Flächendosisprodukt 49 Rcm^2.

Knabe, 2 Jahre, Durchleuchtungszeit 39 sec, 3 Zielaufnahmen, Normalbefund. Überdurchschnittlich hohe Referenzdosis.

Ursache: Die Referenzdosis ist gegenüber der rektalen Dosis unverhältnismäßig hoch. Dies kann nur durch ein überdurchschnittlich langes Verweilen des Referenzmeßpunktes im Primärstrahl zustande gekommen sein.

MCU, Fall 3:

Referenzdosis 261 mrd, rektale Dosis 1155 mrd.
Mädchen, 7 Jahre, Durchleuchtungszeit 220 sec, 7 Zielaufnahmen, hohe Referenz- und rektale Dosis.

Ursache: Die hohen Dosen sind nur durch die lange Untersuchungsdauer und die hohe Aufnahmezahl bedingt.

3.3. Referenzdosismessung

Beziehung zwischen Referenzdosis und rektaler ("weiblicher") Dosis beim IVP

Um die Beziehung zwischen der männlichen,"im Schritt" gemessenen Gonadendosis - die als Referenzdosis gelten soll - und der weiblichen (rektalen) Dosis zu prüfen, wurden 87 Wertepaare miteinander verglichen. Der Referenzmeßpunkt entspricht der männlichen Gonadendosis ohne Bleigonadenschutz. Er entspricht also nicht der echten Gonadendosis, da immer ein Gonadenschutz verwendet wurde. Jedes dieser 87 Wertepaare besteht aus einer am gleichen Kind gemessenen "männlichen"(Referenz-)Dosis und der "weiblichen"(rektalen) Dosis. Da die Beziehung der beiden Meßpunkte bei beiden Geschlechtern konstant ist - der eine außerhalb des Strahlenganges, der andere intrakorporal im Strahlengang - ist eine positive Korrelation zu erwarten. Neben dem Korrelationskoeffizienten (+0,8) wurde noch die Regressionsgerade bestimmt (Abb.3.15.)

Die Korrelation bestätigt mit +0,8 die starke Abhängigkeit der Werte voneinander. Die Regressionsgerade läßt mit einer gewissen Fehlerbreite - in Abb 3.15. ist der 2s-Vertrauensbereich eingetragen - einen Schluß von der Referenzdosis auf die weibliche(rektale) Gonadendosis zu.Die Referenzdosismessung mit dem angegebenen Meßpunkt ermöglicht also beim IVP auch eine grobe Schätzung der rektal bestimmten weiblichen Gonadendosis.

Es sei nochmals darauf hingewiesen, daß beim IVP der Referenzmeßpunkt immer außerhalb des Primärstrahls liegt, die weiblichen Gonaden aber immer im Strahlengang liegen. Der Bildausschnitt ist immer gleich,auch besteht kein Geschlechtsunterschied bei der Untersuchung. Daher ergibt sich die Möglichkeit der Verwendung der "männlichen" Dosis als Referenzdosis.

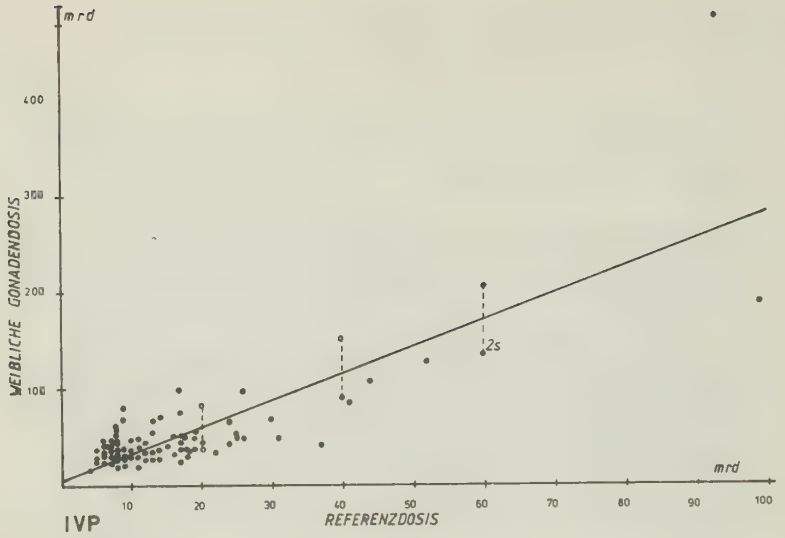


Abb.3.15.: IVP, Beziehung zwischen Referenzdosis und weiblicher (rektaler) Gonadendosis. Eingetragen sind 87 Wertepaare und die Regressionsgerade. 2s = 2s-Vertrauensbereich der Regressionsgeraden.

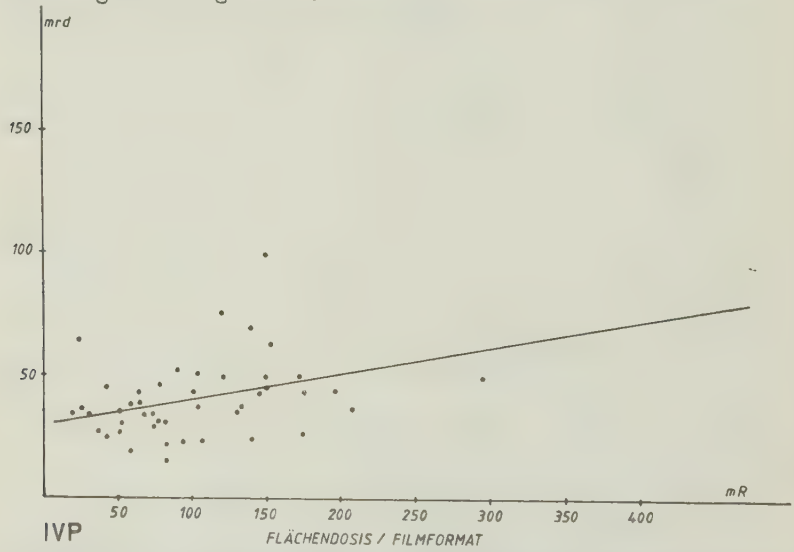


Abb.3.16.: IVP, Beziehung zwischen Flächendosisprodukt/Filmformat und der rektalen (weiblichen) Dosis. Eingetragen sind 48 Wertepaare und die Regressionsgerade.

Schätzung der weiblichen Gonadendosis über andere Dosiswerte

Da die Bestimmung der weiblichen Gonadendosis durch eine rektale Dosismessung aufwendig ist, wurden verschiedene äußerlich gemessene Dosiswerte daraufhin untersucht, ob sie eine einfachere Schätzung der weiblichen Gonadendosis gestatten. Alle Methoden wurden auf die rektale Messung bezogen.

1. Auf die Referenzdosismessung"im Schritt" wurde oben schon eingegangen. Bei der Berechnung der Abweichung der gemessenen Werte vom berechneten Wert (auf der Regressionsgerade) ergab sich ein Standardfehler für die Schätzung der rektalen Dosis über die Referenzdosis von 26,5 mrd.

2. Naheliegend ist eine Schätzung der weiblichen Gonadendosis über das routinemäßig miterfaßte Flächendosisprodukt. Für diese Berechnung wurde von der Fläche des jeweiligen Filmformate 10% abgezogen, da Messungen der effektiven Filmfläche ergaben, daß die Filmfläche durch Einblendung im Mittel weniger als 90% ausgenutzt wird. Um nun zu einer ungefähren Einfalldosis zu gelangen, wurde das Flächendosisprodukt von 58 IVPs durch die auf oben beschriebener Weise gewonnene Fläche geteilt. Die erhaltenen Werte geben einen groben Anhalt für die Einfalldosis, im Einzelfall können sie jedoch stark von der echten Dosis abweichen.

Die Korrelation zwischen der Flächendosis und der rektalen Dosis beträgt o,75 , berechnet an 48 Wertepaaren. Der Standardfehler für die Schätzung der rektalen Dosis über das Flächendosisprodukt beträgt 10,2 mrd. Das Meßkollektiv ist kleiner als bei der Referenzdosismessung, die Streuung (der Variationskoeffizient) für die rektalen Dosiswerte nur halb so groß wie bei den zur Referenzdosismessung "im Schritt" gehörenden rektalen Werten. Daher kann aus dem niedrigen Standardfehler nicht geschlossen werden, daß die Schätzung der weiblichen

(rektalen) Dosis über das Flächendosisprodukt genauer ist. Die Wertepaare und die Regressionsgerade sind in Abb.3.16. dargestellt.

3. Auch eine mit LiF-Kristallen gemessene Einfalldosis eignet sich zur Bestimmung der weiblichen Dosis. Da die Einfalldosis mit dem Alter ansteigt (siehe Abb. 3.8.), wurde dies entsprechend berücksichtigt. Für jedes Alter wurde ein Faktor bestimmt, der den mittleren prozentualen Anteil der rektalen Dosis an der Einfalldosis wiedergibt. Die berechnete weibliche (auf die rektale Messung bezogene) Dosis ergibt sich aus der Multiplikation der Einfalldosis mit dem jeweiligen Faktor.

Der Standardfehler für die Schätzung der rektalen Dosis über die mit LiF-Kristallen gemessene Einfalldosis beträgt 25,3 mrd. Es standen 71 Wertepaare zur Verfügung.

4. Um die bei jeder der genannten Methoden auftretenden Fehler zu verringern, wurden zwei Methoden kombiniert. Der Mittelwert aus den über die Referenzdosis "im Schritt" berechneten Werten wurde mit der gemessenen rektalen Dosis verglichen. Der Standardfehler verringerte sich dadurch auf 11,7 mrd. Die Berechnungen wurden an 63 Wertepaaren durchgeführt.

In diesem Fall kann der Standardfehler mit dem Fehler bei der Bestimmung über die Referenzdosis "im Schritt" verglichen werden, da es sich um identische Stichproben handelt. Die Streuung der rektalen Dosis ist bei beiden Fällen gleich groß, die Verringerung des Standardfehlers ist also auf andere Ursachen zurückzuführen. Man kann also annehmen, daß diese Methode gegenüber der einfachen Referenzdosismessung genauer ist.

TABELLE: SCHÄTZUNG DER WEIBLICHEN GONADENDOSIS BEIM IVP ÜBER EINE REFERENZDOSIS		
REFERENZDOSIS	GONADENDOSIS	
5 mrd	18 mrd (6 - 31)	
10 mrd	32 mrd (17 - 47)	
15 mrd	46 mrd (29 - 63)	
20 mrd	60 mrd (40 - 79)	
25 mrd	74 mrd (52 - 95)	
30 mrd	88 mrd (63 - 111)	
40 mrd	113 mrd (86 - 143)	
50 mrd	140 mrd (109 -175)	
60 mrd	167 mrd (132 - 207)	
Formel: Referenzdosis x 2.76 + 4.7		

Tab.3.2.: Schätzung der weiblichen Gonadendosis beim IVP über eine Referenzdosismessung. In Klammern ist der 2s-Vertrauensbereich angegeben.

Aus Tab.3.2. können die über die Referenzdosis geschätzten weiblichen Gonadendosen für einige Werte entnommen werden. In Klammern ist jeweils der 2s-Vertrauensbreich angegeben. Über die Formel kann jeder Wert berechnet werden.

Aus Tab.3.3. sind die weiblichen Gonadendosen für einige Flächendosisprodukt-Werte und zwei allgemeine Formeln für die zwei üblichen Filmformate ersichtlich. Der 2s-Vertrauensbereich ist kleiner als bei der Referenzdosismessung; er bezieht sich jedoch auf ein Kollektiv von rektalen Messungen, deren Streuung geringer ist als bei der Referenzdosismessung. Es kann also nicht geschlossen werden, daßdie Schätzung über das Flächendosisprodukt genauer ist.

In Tabelle 3.4. sind zunächst die prozentualen Anteile der rektalen Dosis an der Einfalldosis für die einzelnen Altersstufen wiedergegeben. Damit kann über die Einfalldosis und die Referenzdosis "im Schritt" eine weibliche Gonadendosis geschätzt werden. Nimmt man das Mittel aus beiden Werten als der Gonadendosis entsprechend an, so ist der Schätzfehler nur halb so groß wie bei alleiniger Referenzdosismessung.

TABELLE: SCHÄTZUNG DER WEIBLICHEN GONADENDOSIS BEIM IVP ÜBER DAS FLÄCHENDOSISPRODUKT		
FLÄCHENDOSIS-PRODUKT	GONADENDOSIS BEI FILMFORMAT	
	24 x 30 cm	30 x 40 cm
50 Rcm^2	37 mrd (29 - 45)	34 mrd (27 - 41)
75 Rcm^2	41 mrd (32 - 51)	37 mrd (29 - 44)
100 Rcm^2	45 mrd (35 - 55)	39 mrd (30 - 47)
150 Rcm^2	53 mrd (41 - 65)	44 mrd (34 - 53)
200 Rcm^2	61 mrd (47 - 75)	48 mrd (37 - 59)
250 Rcm^2	69 mrd (52 - 85)	53 mrd (41 - 65)
300 Rcm^2	77 mrd (58 - 95)	58 mrd (41 - 71)
Formel: Rcm^2 = x	$\frac{x}{0.65}$ x 0.1+29	$\frac{x}{1.1}$ x 0.1+29

Tab.3.3.:Schätzung der weiblichen Gonadendosis beim IVP über das Flächendosisprodukt. In Klammern ist der 2s-Vertrauensbereich angegeben.

TABELLE ZUR BERECHNUNG DER WEIBLICHEN GONADENDOSIS ÜBER DIE REFERENZDOSIS UND DIE EINFALLDOSIS																
ALTERSFAKTOREN Anteil der rektalen Dosis an der Einfalldosis																
%	60	50	42	37	32	30	27	25	23	21	20	18	17	16	15	14	%
Alter 0 (Jahre)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	

Formel: $\frac{\text{Altersfaktor x Einfalldosis + Ref.Dosis x 2.76+4.7}}{2}$ =

= die geschätzte weibliche Gonadendosis

Tab.3.4.:Tabelle zur Berechnung der weiblichen Gonadendosis beim IVP über die Referenzdosis und die Einfalldosis.

Beziehung zwischen Referenzdosis und weiblicher (rektaler) Gonadendosis beim MCU

Beim MCU gibt es zahlreiche Variable, die sich auf den Referenzdosispunkt und die weibliche Gonadendosis sehr unterschiedlich auswirken können. Solche Variable sind:

- das Geschlecht
- die Mitarbeit des Kindes
- der Befund
- der Untersucher

Alle diese Faktoren haben Einfluß auf die:

- Lage des Durchleuchtungsfeldes
- Dauer der Durchleuchtung an einem Ort
- Zahl der Aufnahmen an einem Ort

Durch die Lage der Urethra liegt der Referenzdosispunkt bei Knaben bei einem großen Teil der Untersuchung direkt im Strahlengang, bei Mädchen in der Regel nicht. Auch ermöglicht der kurze und gerade Verlauf der Harnröhre bei Mädchen eine engere Einblendung, was ebenfalls die Bestrahlung des Referenzpunktes verringert.

Die Beziehung zwischen der Dosis am Referenzmeßpunkt und der weiblichen(rektalen) Dosis wurde nach Geschlechtern getrennt untersucht.

Zunächst wurden die Messungen an 25 Knaben miteinander verglichen. Es ergab sich ein Korrelationskoeffizient von +o,15. Die rektal gemessenen Werte sind also nahezu unabhängig von der Referenzdosis. Bei der Analyse der Wertepaare stellte sich heraus, daß es zwei deutlich voneinander verschiedene Gruppen gibt. Bei der einen Gruppe ist die rektale Dosis niedriger als die Referenzdosis, bei der zweiten Gruppe ist die Referenzdosis im Verhältnis zur rektalen Dosis sehr

niedrig. Da sich bei der ersten Gruppe keine besonderen Gegebenheiten (z.B. besondere Befunde) zeigten, muß angenommen werden, daß bei dieser Gruppe der Referenzmeßpunkt deutlich länger im direkten Strahlengang lag als bei den übrigen Untersuchungen. Berücksichtigt man nur die zweite Gruppe von Wertepaaren, so ergibt sich mit einem Korrelationskoffizienten von r = + 0,82 eine starke Beziehung zwischen der Referenzdosis (an Knaben gemessen) und der rektalen Dosis.

Aus diesen Berechnungen läßt sich folgern, daß die Verwendung des Referenzmeßpunktes für eine andere, im Strahlengang liegende Dosis - hier die rektale Dosis - nur dann zulässig ist, wenn der Referenzmeßpunkt außerhalb des Primärstrahls liegt oder wenn der Anteil an direkter Strahlung immer gleich ist. Dies ist beim MCU beim männlichen Geschlecht nicht gegeben.

Die in Abb.3.17. eingezeichnete Regressionsgerade ist nur aus solchen Wertepaaren berechnet worden, bei denen der Referenzpunkt nicht oder kaum im Primärstrahl lag. Man kann diese Gerade zur Abschätzung einer rektalen Dosis verwenden, wenn man falsch hohe Werte in Kauf nimmt.

Die Verwendung des Referenzpunktes "im Schritt" kann aber bei Mädchen möglicherweise sinnvoll sein, um von dieser Dosis, die ja einfacher als die rektale Dosis zu messen ist, auf die weibliche Gonadendosis zu schließen. Hierzu wurden die Korrelation und die Regressionsgerade aus 69 Wertepaaren bestimmt.

Die Korrelation ist mit +0.64 zwar positiv, aber schlechter als beim IVP. An den absoluten Werten der Referenzdosis zeigte sich, daß der Meßpunkt so gut wie nie im direkten Strahlengang lag, die Bedingungen also einheitlicher sind als beim MCU bei Knaben.

Bei der Analyse der Wertepaare zeigte eine Gruppe extrem hohe rektale Dosen im Verhältnis zu den Referenzdosen auf. Bei allen diesen acht Fällen wurde ein vesikoureteraler Reflux diagnostiziert. Ein solcher Befund bedeutet natürlich ein längeres Verharren des Durchleuchtungsfeldes in der Gegend der Ureterenmündung, sowie mehrere Zielaufnahmen zur Dokumentation des Befundes. Damit liegen aber auch die Gonaden lange im Primärstrahl und erhalten erheblich mehr Dosis. Die durchschnittliche weibliche Gonadendosis lag bei dem Befund "Reflux" um 2,5-fach höher als der Gesamtmittelwert. Dagegen war der Referenzwert bei dem Befund "Reflux" gegenüber der mittleren Referenzdosis aus allen Werten nahezu unverändert. Daher kann die Referenzdosis auch beim Mädchen nicht ohne weiteres als Maß für die weibliche Gonadendosis beim MCU herangezogen werden.

Es wurden daher getrennt die Korrelationen und die Regressionsgeraden für "MCU ohne Reflux" und"MCU mit Reflux" berechnet und in Abb.3.18. dargestellt. Der Korrelationskoeffizient für die "Reflux"-Wertepaare beträgt 0,73, der für"ohne Reflux" 0,71. Er ist also höher als zwischen allen Wertepaaren. Die Verläufe der Regressionsgeraden deuten darauf hin, daß im unteren Bereich keine lineare Beziehung besteht, da sie stark vom Nullpunkt abweichen.

Eine größere Meßungenauigkeit im unteren Bereich dürfte ein Grund für die starke Abweichung der Geraden vom Nullpunkt sein, denn geringe örtliche Unterschiede in der Anbringung der Referenzmeßsonde bringen eine unterschiedliche Entfernung zum Primärstrahl mit sich und damit Dosisschwankungen, die von der Bestrahlung der weiblichen Gonaden unabhängig sind. Auch ist es möglich, daß die Beziehung zwischen Referenzdosis und

weiblicher Gonadendosis nicht linear ist und zumindest im unteren Bereich eine andere Steigung als die dargestellte aufweist.

Aus der Abb.3.18. und den Korrelationsberechnungen zeigt sich, daß die Referenzdosismessung "im Schritt" bei Mädchen als Anhalt für die weibliche Gonadendosis - mit Einschränkung - aussagefähig ist. Berücksichtigt man den Unterschied, ob ein vesikoureteraler Reflux besteht oder nicht, so verbessert man damit die Beziehung zwischen Referenzdosis und rektaler Dosis wesentlich und schaltet den häufigsten und größten Störfaktor dieser Beziehung aus.

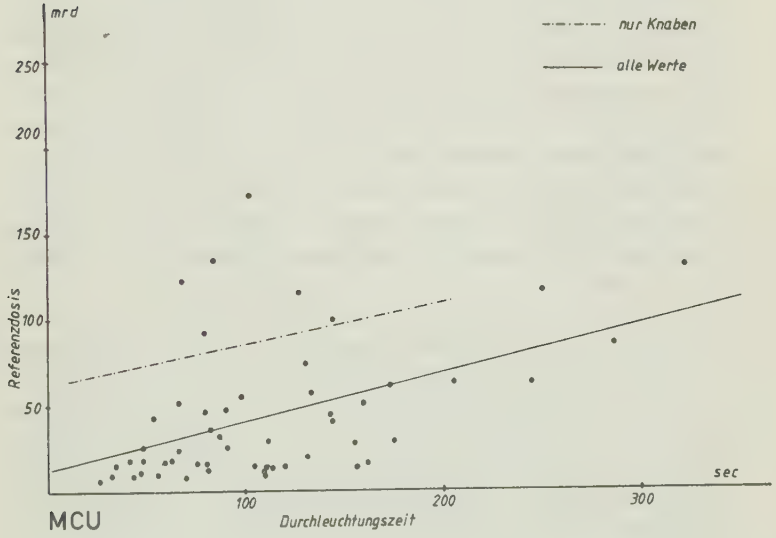


Abb.3.19.: Beziehung zwischen Durchleuchtungszeit und weiblicher Gonadendosis (rektale Messung). Eingetragen sind 74 Wertepaare und die Regressionsgerade. 2s = 2s-Vertrauensbereich der Regressionsgeraden.

Vergleich der Durchleuchtungszeit mit der Dosis

Um den Einfluß der Durchleuchtungszeit beim MCU auf die Dosis zu überprüfen, wurden die Durchleuchtungszeiten mit den entsprechenden gemessenen oder registrierten Dosiswerten verglichen.

1. Beziehung Durchleuchtungszeit zur rektalen (weiblichen) Dosis. An 74 Wertepaaren wurde die Durchleuchtungszeit mit der rektalen Dosis verglichen. Dabei ergab sich ein Korrelationskoeffizient von 0,6. Dies spricht für eine starke Abhängigkeit der rektalen Dosis von der Durchleuchtungszeit.

2. Beziehung Durchleuchtungszeit zur Referenzdosis. An 52 Wertepaaren wurde die Durchleuchtungszeit mit der sowohl an Knaben wie auch an Mädchen gemessenen Referenzdosis verglichen. Es ergab sich eine positive Korrelation von r = + 0,45. Da sowohl Knaben wie auch Mädchen berücksichtigt wurden und bei beiden Geschlechtern bestimmte Faktoren die Lage des Referenzpunktes zum Primärstrahl beeinflußen (siehe oben), muß hier die Beziehung zueinander lockerer sein als bei Durchleuchtungszeit - rektale Dosis.

3. Beziehung Durchleuchtungszeit zu Referenzdosis(Knaben). An 18 Wertepaaren ergab sich eine Korrelation von + 0,3. Der Zusammenhang ist also noch geringer als mit der Referenzdosis aus allen Werten. Ursächlich mag hierfür auch die zum Primärstrahl nicht definierte Lage des Referenzmeßpunktes sein; durch das Übergewicht der Mädchen bei der in Punkt 2 genannten Beziehung fällt sie dort nicht so sehr ins Gewicht.

4. Beziehung Durchleuchtungszeit zum Flächendosisprodukt. Ein Vergleich der Durchleuchtungszeit mit dem Flächendosisprodukt ergab an 43 Wertepaaren eine Korrelation von + 0,55. Der Zusammenhang ist damit ähnlich gut wie der zwischen Durchleuchtungszeit und rektaler Dosis.

Die Durchleuchtungszeit beim MCU steht damit in statistisch zu sicherndem Zusammenhang mit der Gonadendosis und dem Flächendosisprodukt. Der Zusammenhang zwischen Durchleuchtungszeit und rektaler Dosis ist nicht wesentlich schlechter als zwischen Referenzdosis und rektaler Dosis. Folglich läßt sich bei Mädchen anhand der Durchleuchtungszeit die Gonadendosis schätzen und zwar kaum ungenauer als mit der Referenzdosismessung.

Bei Knaben ist - durch die anatomischen Verhältnisse bedingt - eine lange Durchleuchtungszeit nicht unbedingt identisch mit einer hohen Gonadendosis, da lange an gonadenfernem Ort durchleuchtet werden kann, ohne daß sich dies auf die Gonadendosis auswirkt. Daher ist hier der statistische Zusammenhang schlechter als bei Mädchen.

In Abb. 3.19 ist die Regressionsgerade für die Schätzung der weiblichen Gonadendosis anhand der Durchleuchtungszeit eingezeichnet. In Abb. 3.20 sind die Durchleuchtungszeiten gegen die Referenzdosen aufgetragen. Die eingetragene Gerade ist die Regressionsgerade für die Schätzung der männlichen Gonadendosis (nur an Knaben bestimmt) anhand der Durchleuchtungszeit.

In Tab.3.5. sind die Korrelationen und die Regressionsgeraden für die Schätzungen der Gonadendosis über die Referenzdosis zusammengestellt. In Tab.3.6. finden sich die Beziehungen zwischen der Durchleuchtungszeit und den Gonadendosen bzw. dem Flächendosisprodukt wieder.

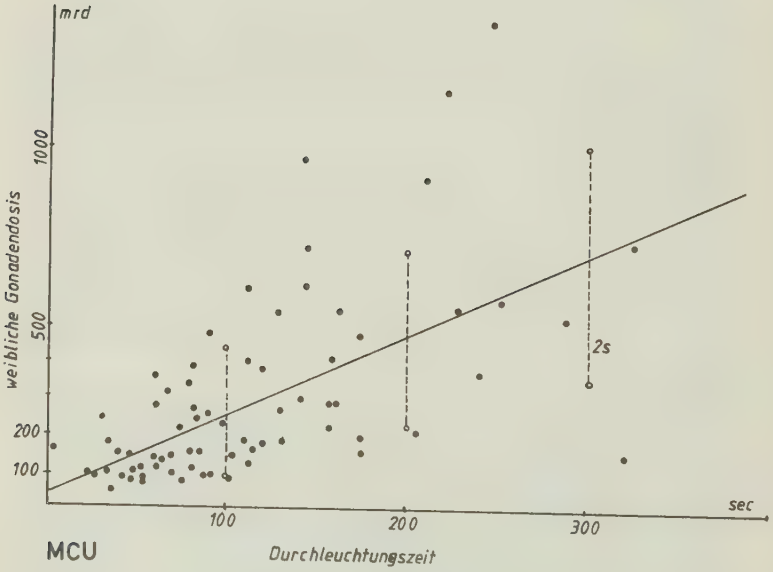


Abb.3.20.:MCU, Beziehung zwischen Referenzdosis und Durchleuchtungszeit.Eingetragen sind 52 Wertepaare und 2 Regressionsgeraden.-.-.-.-. = Gerade für die nur an Knaben ermittelten Werte;——— ——— = Gerade für alle Wertepaare.

TABELLE: MCU / KORRELATION REFERENZDOSIS - REKTALE DOSIS

Wertepaare	Variationskoeffizient (%) Ref.Dosis	rekt. Dosis	Ref.-Dosis(x) : y =	Korr.-Ko. r =	Regressionsger.
25	63	79	rektale Dosis (Knaben)	0,15	y= 0,37x+199
18	52	71	" (Knab., korrig.)	0,82	y= 3,6x - 42
66	108	78	" (Mädchen)	0,64	y=4,5x +173
46	125	80	" (" , o.Reflux)	0,71	y=3,1x +139
8	35	21	" (" , Reflux)	0,73	y=8,8x +424

Tab.3.5.:Korrelation zwischen Referenzdosis und rektaler Dosis beim MCU.Angegeben sind die Anzahl der Wertepaare, die Variationskoeffizienten der gemessenen Werte, dann die Messung, auf die Bezug genommen wurde, der Korrelationskoeffizient und die Formel der Regressionsgerade.In der zweiten Zeile wurden die Wertepaare außer Acht gelassen, bei denen der Referenzmeßpunkt überdurchschnittlich lange im Primärstrahl lag.

TABELLE : MCU/KORRELATION DURCHLEUCHTUNGSZEIT - DOSIS

Wertepaare	Variationskoeffizient(%) DL-Zeit	Dosis	DL-Zeit(x) : y =	Korr.-Ko. r=	Regressionsger.
74	62	88	weibl. Gon.-Dosis	0,6	y= 2,2x + 45,6
52	58	91	Referenzdosis	0,45	y= 0,28x + 13
18	58	50	Ref.D., nur Knaben	0,3	y = 0,16x + 62
43	52	78	Rcm^2	0,55	——

Tab.3.6.:Korrelation zwischen Durchleuchtungszeit und Dosis beim MCU.Angegeben sind die Anzahl der Wertepaare, die Variationskoeffizienten der gemessenen Werte,dann die Bezugsdosis, der Korrelationskoeffizient und die Formel der Regressionsgeraden.

Gonadendosisleistung beim MCU

Ein Wert, der für die Strahlenbelastung beim Miktionscystourethrogramm neben der Dosis von Interesse ist, ist die Dosisleistung an den Meßpunkten. Da die Gonadendosis am stärksten von der Durchleuchtungszeit beeinflußt wird, kann man bei Kenntnis der mittleren Gonadendosisleistung einen Anhalt über die Gonadendosis bei bestimmter Durchleuchtungszeit gewinnen.

Die mittlere Gonadendosisleistung am Referenzmeßpunkt (Knaben und Mädchen) betrug 0,44 mrd/sec. Dies ist der Mittelwert aus allen verfügbaren Messungen (n = 101).

Die nur an Knaben bestimmte mittlere Gonadendosisleistung am Referenzmeßpunkt betrug 0,91 mrd/sec (n = 36).

Die Dosisleistung am Meßpunkt der rektalen Sonde betrug im Mittel 2,6 mrd/sec (n = 74).

3.4.

Prüfung der Genauigkeit der LiF-Dosimeter

Die Meßgenauigkeit der Dosimeter und der Sondenfaktor für die einzelnen Dosimeter wurde bestimmt. Nach einer einzeitigen Bestrahlung (durchgeführt von der "Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung" in Neuherberg) wurden die Kristalle einzeln ausgewertet. Dabei ergab sich eine Dosisempfindlichkeit von 17,9 nCoul/R für die Plättchen und eine Empfind-

lichkeit für die Stäbchen von 8 nCoul/R. Bestrahlt wurde mit 500 mR.

Die Streuung (der Variationskoeffizient) betrug bei den Plättchen 9%, bei den Stäbchen sogar 27%. Die Streuung ist also groß, bei den Stäbchen sogar sehr groß.

Mit den Plättchen wurde zusätzlich folgender Versuch gemacht: 11 Päckchen mit je 5 Plättchen (in einem Fall nur 4) wurden gleichzeitig mit der Röntgenröhre bestrahlt(ungefähr 1 R bei 70kV). Dann wurde die Standardabweichung innerhalb der Päckchen ermittelt und die Standardabweichung zwischen den Gruppen bestimmt.

Der Variationskoeffizient zwischen den einzelnen Gruppen beträgt 10%, die Abweichung innerhalb der einzelnen Gruppen ist wesentlich geringer, der Variationskoeffizient beträgt im Durchschnitt nur 2,6%. Die Ergebnisse dieser Messungen sind in Tab. 3.7. dargestellt.

TABELLE : STREUUNG DER LiF-DOSIMETER

Gruppe	Skt.(nCoul)	n=	s=	V%=
1	16.10	5	0.69	4.3%
2	16.38	5	0.41	2.5%
3	16.44	5	0.35	2.1%
4	17.34	5	0.54	3.1%
5	15.12	5	0.30	2.0%
6	14.86	5	0.28	1.9%
7	17.12	5	0.75	4.4%
8	16.74	5	0.23	1.4%
9	16.40	5	0.44	2.7%
10	15.85	4	0.21	1.3%
11	16.46	5	0.38	2.3%
$\bar{x}$=	16.35	$\bar{n}$=5	$\bar{s}$=1.64	$\bar{V}$%=2.6

Tab.3.7.: Streuung der LiF-Dosimeter.

4. Diskussion

4.1. Diskussion der Ergebnisse

4.1.1. Aufbau

Messung an beiden Geschlechtern beim IVP

Beim IVP besteht kein Unterschied hinsichtlich der Untersuchungstechnik zwischen Knaben und Mädchen, so daß sowohl die bei Mädchen "im Schritt" gemessene wie auch die bei Knaben rektal gemessene Dosis als zuverlässiger Wert für die männliche und weibliche Dosis verwendet werden kann. Die anatomische Lage der Meßpunkte, ihre Beziehung zum Strahlengang (und damit der relative Streustrahlenanteil) ist ja bei beiden Geschlechtern gleich. Auf die Besonderheiten beim MCU wird noch gesondert eingegangen.

Bleigonadenschutz

Da bei Knaben grundsätzlich ein Bleigonadenschutz angelegt wird, ist sowohl beim IVP als auch beim MCU ein Wert für die männliche Gonadendosis ermittelt worden, der viel höher ist als die echte Dosis, die auf die Hoden in der Bleikapsel einwirkt.

Rektale Messung

Für die rektalen Messungen wurden röntgenpositive Polyäthylensonden mit den TL-Kristallen präpariert. Somit konnte ihre Lage auf dem Röntgenbild kontrolliert werden. Auf diese Weise konnten beim IVP

Messungen, die durch eine sichtbar falsche Sondenlage verursacht waren - z.B. Umknicken der Sonde im Rektum - als solche erkannt und unberücksichtigt werden lassen. Natürlich läßt sich bei der a.p.-Abdomenaufnahme, wie sie beim IVP durchgeführt wird, nicht die Körperschicht bestimmen, in der die Sondenspitze liegt. Dennoch gibt die Länge, in der die Sonde eingeführt wird und das Röntgenbild einen guten Anhalt über die Lage des Meßpunktes. Meßsonden die durch diese Kontrollen als falsch liegend erkannt wurden,- verursacht zum Beispiel durch Herausdrücken der Sonde bei Säuglingen und Kleinkindern oder durch umgeknickte Sonden - wurden nicht ausgewertet.

Beim IVP ergibt ein Zutiefliegen des Meßpunktes (in einer zu tiefen Schicht) falsch niedrige Werte, da der Strahlenkegel von vorne auf den Körper trifft. Beim MCU tritt der Strahlengang von hinten in den Körper ein; eine Sonde, die zu tief liegt, ergibt also falsch hohe Werte. Für das IVP wurden die erhaltenen Relationen zwischen rektaler Dosis und Einfalldosis mit Phantommessungen von WEBER (9) verglichen; es ergaben sich ähnliche Verhältnisse.

Besonderheiten beim MCU

Beim MCU bestehen zwischen den Geschlechtern in der Untersuchungstechnik gewisse Unterschiede,die sich auch auf die gewählten Dosismeßpunkte auswirken.

Bei Knaben wird die Miktion im seitlichen Strahlengang untersucht, nachdem die Blase mit Kontrastmittel gefüllt worden ist. Durch die Lage und Form der männlichen Urethra und durch die Seitenlage liegt der röhrennahe Meßpunkt der männlichen Dosis immer im direkten Strahlengang. Anders bei Mädchen; durch die kurze Urethra liegt das Durchleuchtungsfeld etwas höher, andererseits ist es möglich, das Feld kleiner einzublenden. Dadurch liegt der Meßpunkt der "männlichen" Dosis im Schritt meist außerhalb des direkten Strahlenganges. Die Untersuchung erfolgt hier im p.a.-Strahlengang, der Meßpunkt liegt also während der Miktion in den meisten Fällen neben oder unterhalb des Durchleuchtungsfeldes oder der Zielaufnahme. Aus Obengenanntem geht hervor, daß eine Bestimmung der "männlichen" Gonadendosis an Mädchen mit der angewendeten Methode fehlerhaft ist.

Zur Bestimmung der "männlichen" Dosis wurde immer der Mittelwert aus beiden Meßpunkten im Schritt bestimmt. Bei Knaben liegt jedoch der eine Meßpunkt - zu einem großen Teil der Untersuchung - im seitlichen Strahlengang, also verdeckt hinter dem Gonadenschutz und erhält somit erheblich weniger Dosis als die Hoden ohne Schutz erhalten würden. Daher wurde bei der Bestimmung der männlichen Dosis an Knaben (siehe Abb.3.10.) nur das linke - röhrennahe - Meßband berücksichtigt.

Ein Einfluß der unterschiedlichen Untersuchungstechnik auf die rektale Dosis konnte nicht gefunden werden. Daher wurde zur Bestimmung der weiblichen Dosis sowohl die an Knaben wie auch die an Mädchen rektal gemessenen Werte verwendet.

4.1.2. Dosimetereigenschaften

Genauigkeit der Dosimeter

Bei der Überprüfung der Thermolumineszenzdosimeter auf ihre Anzeigegenauigkeit stellte sich heraus,daß die durch die Behandlung der Dosimeter bedingte Meßungenauigkeit größer ist als die Meßungenauigkeit durch die Eigenschaften der LiF-Kristalle. Innerhalb einer Fünfergruppe von Dosimetern betrug der mittlere Variationskoeffizient (relative Standardabweichung) nur 2,6%, der Variationskoeffizient zwischen den einzelnen Gruppen dagegen 10%. Wenn man auch davon ausgehen muß, daß bei der Bestrahlung zu Testzwecken die Päckchen mit den Dosimetern nicht völlig gleichmäßig bestrahlt worden sind, zeigt sich doch, daß äußere Faktoren den Anzeigewert der Thermolumineszenzdosimeter stark beeinflußen. Da die Streuung innerhalb eines Päckchens nur 2,6% betrug und die Kristalle innerhalb eines Päckchens gleichmäßig behandelt worden sind, scheint die Streuung von 2,6% die von den Thermolumineszenzkristallen und der Auswerteapparatur direkt ausgehende Meßungenauigkeit zu sein. Als äußere Faktoren, die die Meßgenauigkeit beeinflußen, können gelten:

- Die Vorbehandlung(Temperung) in den Ausheizschälchen kann ungleichmäßig sein. Allein die Dauer der Abkühlzeit kann das Ergebnis beeinflußen.
- Abbröckeln, Verunreinigung,Verfärbung
- Unwelteinflüße wie UV-Licht, Temperatur, Dauer der Lagerung .

Die starke Streuung der Anzeigewerte bei den Stäbchen ist sicher durch die offene Verwendung (nicht in Alufolie verpackt) mitverursacht. Dadurch wurde die Verunreinigung gefördert, was zu leichten Verfärbungen

der Dosimeter führte. Die sehr dünnen Stäbchen (1 x 1 mm Dicke) brachen auch gelegentlich ab und wurden dann ebenso wie die Stäbchen mit deutlich sichtbarer Verunreinigung ausgesondert.

Der genaue Sondenfaktor (Umrechnungsfaktor nCoul in mR) wurde erst gegen Ende der Messungen bestimmt. Deshalb gehen Veränderungen der Dosimetereigenschaften, die durch die Benutzung entstanden, in ihn ein. Einzelne Werte können also - insbesondere bei der rektalen Messung - von der echten Dosis abweichen. Dieser Fehler gleicht sich aber im Mittel wieder aus.

Niedrigste meßbare Dosis

Die Messungen der männlichen Gonadendosis beim IVP lagen im unteren Bereich der mit den Thermolumineszenzdosimetern meßbaren Dosen. Nach Angaben der Hersteller liegt der Meßbereich für High-Sensitivity-Rods - wie sie bei den durchgeführten Messungen verwendet wurden - zwischen 10mR und 100 000 R. REGULLA (7) kommt bei seiner Prüfung der Dosimeter auf eine unterste meßbare Dosis von 2mR. REGULLA gibt als unterste Meßgrenze 30% des Nulleffektes an. In unserem Falle entsprach der Nulleffekt für ein unbestrahltes Plättchen etwa 17mR; die unterste meßbare Dosis liegt damit etwa bei 6mR. Mit den durchgeführten Mehrfachmessungen können aber durchaus noch Dosen, die unter der angegebenen Schwelle liegen, signifikant vom Nullwert unterschieden werden.

Energieabhängigkeit

Wenn auch die Energieabhängigkeit der LiF-Dosimeter geringer ist als die anderer Festkörperdosimeter, so ist sie doch im Bereich der diagnostischen Röntgenstrahlung keineswegs zu vernachlässigen (7). Bei den durchgeführten Messungen war bekannt, daß das Spektrum bei der Eichung nicht mit dem Spektrum bei der Bestrahlung übereinstimmt. Da der Anteil der Straustrahlung sehr unterschiedlich groß sein kann (beim MCU) oder aber die gesamte Dosis von Streustrahlung verursacht ist (männliche Dosis beim IVP), können hier gewisse Fehler auftreten.

Arbeitsaufwand

Auch bei rationalisiertem Arbeitsablauf benötigt man gewisse Zeiten für die Auswertung der Thermolumineszenzdosimeter, die nicht zu unterschreiten sind, wenn man zu zuverlässigen Ergebnissen gelangen will. Im allgemeinen wurden an einem Patienten drei Meßsonden mit 14 Kristallen angebracht, für das Auswerten und Ausrechnen der Dosiswerte wurden pro Patient 15 Minuten benötigt. Hinzu kommen noch die Zeiten für die Vorbehandlung (Vortempern), Regenerieren, Verpacken, die Eichlichtbestimmung und die Leerwertbestimmung.

4.3.

Statistik

Das Kollektiv der Patienten, an denen die Exposition gemessenwurde, ist im statistischen Sinne nicht zufallsverteilt. Bei der Formulierung von Aussagen über die Gesamtpopulation anhand der erhaltenen Mittelwerte sind also Einschränkungen zu machen.

Während des Meßzeitraums, der sich über drei Monate erstreckte, wurde möglichst an allen Kindern die Dosis gemessen. Unterbrechungen kamen dadurch zustande, daß nach einer bestimmten Anzahl von Messungen keine Dosimeter mehr zur Verfügung standen und so die Messungen erst ausgewertet und die Dosimeter regeneriert werden mußten. Deswegen konnten des öfteren die letzten Untersuchungen an einem Meßtag nicht mehr berücksichtigt werden. Da die ambulanten Patienten in der Regel morgens als erste untersucht werden, entstand bei unserem Meßkollektiv ein Übergewicht gegenüber den stationären Patienten, das vermutlich etwas größer ist, als es der Gesamtpopulation entspricht. Um die Teilgruppen "ambulante Patienten" und "stationäre Patienten" auf Unterschiede und Zusammenhänge hinsichtlich der empfangenen Gonadendosis und der Indikation zur Röntgendiagnostik zu untersuchen, war die Zahl der "stationären Patienten" zu gering.

Einen starken Einfluß auf die Mittelwerte üben einzelne Extremwerte aus. Diese ausgesprochen hohen Dosen sind meist durch einen pathologischen Befund verursacht, seltener durch unsachgemäße Technik. Der prozentuale Anteil und die Höhe solcher Ausreisser beeinflußen das arithmetische Mittel sehr

stark, weniger den Zentralwert. Der Modalwert bleibt davon unbeeinflußt. Eine bessere Aussage über die Verteilung der gemessenen Dosen als der Mittelwert hat also der Zentralwert, da er unabhängig ist von der Höhe einzelner Extremwerte.

Insgesamt kamen bei den jetzt durchgeführten Messungen nur wenige Fälle mit komplizierter Diagnose oder technischen Fehlern vor, diese üben jedoch einen großen Einfluß auf die mittlere Dosis aus. Es ist aber nicht sicher, ob der Prozentsatz an diesen Extremwerten im Meßkollektiv dem Prozentsatz in der Gesamtpopulation entspricht.

Je größer die Zahl der Einzelmessungen, umso eher können zufällige Fehler ausgeschaltet werden und eine Annäherung an die Grundgesamtheit erreicht werden.

Insbesondere ist es auch im Vergleich mit anderen Messungen (Abschnitt 4.2.) interessant, aber oft nicht bekannt, wie sich die Meßstichprobe zusammensetzt. Meist ist nur das arithmetische Mittel angegeben.

Aus den Darstellungen der Häufigkeitsverteilung (in Abschnitt 3.2.) ist ersichtlich, daß die Anzahl der Einzelwerte noch zu gering ist,um eine optimale Kurve zu erhalten, jedoch ausreichend, um die Verteilung zu beschreiben. Um zu einer anschaulichen Häufigkeitsverteilung zu gelangen, mußten die Einzelwerte in Klassen von geeigneter Breite eingeteilt werden. Je nach Klassenbreite können sich unterschiedliche Kurven ergeben, die Klasse mit den meisten Werten (Modalwert) kann sich verschieben. Auf die anderen Werte(arithmetisches Mittel, Zentralwert, Perzentilen) hat die Klassenbreite keinen Einfluß.

Typisch bei allen dargestellten Häufigkeitsverteilungen ist die von einer Normalverteilung stark abweichende Form. Der Modalwert liegt immer unter dem Zentralwert; wie weit, ist nur von den Extremwerten nach oben abhängig.

Zusammenfassend kann man sagen, daß das Meßkollektiv keine ideale, aber eine der Grundgesamtheit ähnliche Zusammensetzung aufweist. Eine gültigere Aussage als der Mittelwert bietet der Zentralwert. Durch die große Anzahl der Einzelmessungen sind zufällige Fehler weitgehend ausgeschaltet, und der Bereich, in den die meisten Werte fallen, und der Zentralwert können als guter Anhalt für die Grundgesamtheit gelten. Für das arithmetische Mittel gelten die obengenannten Vorbehalte.

4.1.4. Referenzdosismessung

Beim IVP kann man den Meßpunkt der männlichen Gonadendosis "im Schritt" als Referenzmeßpunkt für die weibliche (rektale) Gonadendosis verwenden.Es besteht eine gute Korrelation zwischen der extrakorporalen Messung und der rektalen Dosismessung. Somit kann man bei Mädchen durch die einfachere Messung "im Schritt" die Gonadendosis abschätzen. Voraussetzung dafür ist, daß der Referenzmeßpunkt nicht im Primärstrahl liegt. Auch über das routinemäßig erfaßte Flächendosisprodukt ist eine Aussage über die rektale Dosis möglich, wenn man das Filmformat berücksichtigt. Die Genauigkeit der Referenzdosismessung läßt sich steigern, wenn man zwei Meßpunkte verwendet, um die rektale Dosis zu schätzen. Über eine Thermolumineszenz-Einfalldosis und den Referenzmeßpunkt "im Schritt" läßt sich die

rektale Dosis doppelt so genau abschätzen wie über den Referenzmeßpunkt im Schritt allein.

Alle gemessenen und berechneten Werte wurden auf die rektal gemessene Thermolumineszenz-Dosis bezogen. Da die rektal gemessene Thermolumineszenz-Dosis größeren Schwankungen unterworfen ist als die Bestimmungen, die extrakorporal durchgeführt wurden, drücken alle Abweichungen des berechneten vom erwarteten Wert nicht nur den Fehler der jeweiligen Methode, sondern auch den Fehler der rektalen Messung mit aus. Es ist daher mit dem vorliegenden Zahlenmaterial nicht zu sagen, auf welche Weise man die weibliche (rektale) Gonadendosis beim LWP am genauesten schätzen kann. Als relativ genau können die Schätzungen über das Flächendosisprodukt als auch über die Kombination Einfalldosis-Referenzdosis gelten. Zum Flächendosisprodukt ist einschränkend zu sagen, daß die Meßprobenpaare eine geringere Streuung der rektalen Dosis aufwiesen und damit eine größere Genauigkeit, als es der Gesamtpopulation entspricht, vorgetäuscht sein könnte.

Beim MCU können Aussagen nur nach Geschlechtern getrennt gemacht werden:

Bei Knaben ist die Referenzdosis nur ein Maß für die männliche Gonadendosis. Der Anteil, den der Referenzpunkt an direkter Strahlung erhält, variiert von Untersuchung zu Untersuchung sehr stark und korreliert deshalb nicht mit einer gleichzeitig gemessenen rektalen Dosis. Die in Abb.3.17. dargestellte Gerade gibt dennoch einen Anhalt,sie kann nur falsch hohe Werte anzeigen.

Bei Mädchen - bei denen der Zusammenhang zwischen beiden Größen von Interesse ist - ist über die Referenzdosis nur eine beschränkte Aussage über die rektale Dosis möglich. Während beim MCU ohne auffälligen Befund eine Beziehung vorhanden ist, ignoriert der Referenzmeßpunkt starke Dosiserhöhungen, die durch den Befund "Reflux" zustande kommen. Man kann bei Mädchen die Gonadendosis nur unter Berücksichtigung des Befundes abschätzen.Wird ein vesikoureteraler Reflux diagnostiziert, dann ergeben geringe Unterschiede in der Referenzdosis schon große Unterschiede in der weiblichen Gonadendosis, die Schätzung ist also sehr ungenau. Wird kein Reflux diagnostiziert, so ist die Schätzung genauer.

Ein starker Zusammenhang konnte jedoch zwischen der Durchleuchtungszeit und der Dosis beim MCU nachgewiesen werden. Es läßt sich also sehr einfach über die Durchleuchtungszeit eine Schätzung der Gonadendosis anstellen. Der Vertrauensbereich der Regressionsgeraden in Abb.3.19. zeigt, daß die Schätzung der weiblichen (rektalen) Gonadendosis beim MCU anhand der Durchleuchtungszeit nicht wesentlich ungenauer ist als über die Referenzdosismessung. Da bei jedem MCU die Durchleuchtungszeit bekannt ist, ist auch über die Kenntnis der Gonadendosisleistung ein Überblick über die empfangene Dosis möglich.

4.2. Vergleich mit anderen Messungen

Im folgenden sollen die vorliegenden Messungen mit den Ergebnissen von anderen Untersuchungen verglichen werden. Dazu ist es nötig, auch auf die entsprechenden Bedingungen dieser Messungen einzugehen. Dennoch kann man nicht immer sagen, ob man gleiches mit gleichem vergleicht, da es viele variable Faktoren gibt, die nicht immer bekannt sind.

Bei der früheren Untersuchung von WEBER (8) und bei der jetzt durchgeführten ist die Untersuchungstechnik weitgehend identisch; es wurde ebenfalls an Infusionsurogrammen und Miktionscystourethrogrammen die Gonadendosen gemessen. Die damaligen Messungen wurden mit Kondiometerkammern durchgeführt. Die weibliche Gonadendosis wurde ebenfalls rektal (mit Füllhalterdosimetern) gemessen. Es wurde an 56 IVPs und 51 MCUs jeweils die "männliche" und "weibliche" Dosis bestimmt.

Als Mittelwerte werden angegeben: Beim IVP für die männliche Gonadendosis 32 mrd, für die weibliche 49,8 mrd; für das MCU 34 mrd für die männliche und 264 für die weibliche Gonadendosis.

Bei dieser Untersuchung wurde - wie bei der jetzt durchgeführten - an beiden Geschlechtern die "männliche" und die "weibliche" Gonadendosis bestimmt.

Eine starke Diskrepanz besteht zwischen den Werten für die männliche Gonadendosis beim MCU. Der TLD-Dosiswert (115 mrd) besteht jedoch aus 36 nur an

Knaben gemessenen Werten (siehe 3.2.), während der von WEBER angegebene Wert die Messungen aus beiden Geschlechtern beinhaltet. Auf die Unterschiede in der Untersuchungstechnik wurde schon an anderer Stelle hingewiesen. Vergleicht man den TLD-Wert aus allen Messungen (n = 109) so ergibt sich bei 49,4 mrd gegenüber 34 mrd eine bessere Übereinstimmung.

Für das IVP ergab sich jetzt ein Mittelwert von 18,7 mrd gegenüber 32 mrd bei WEBER (männliche Gonadendosis). Bei den TLD-Messungen lagen nur 3% der Werte über 62 mrd, bei den Messungen von WEBER sind es etwa 20% (ausgezählt nach der Abbildung der Einzelwerte). Unterschiede können in der Anzahl der Fehlexpositionen und der pathologischen Befunde bestehen, sowie in der Untersuchungstechnik. Die Untersuchungen wurden damals wie jetzt unter der gleichen Leitung durchgeführt, die Technik ist daher nahezu identisch. Aus dem gleichen Grund sind auch keine allzu großen Unterschiede in der Häufigkeit der Fehlexpositionen und der pathologischen Befunde anzunehmen. Die Auswirkung von pathologischen Befunden auf die Dosis pro Untersuchung ist beim IVP nicht so groß wie bei Durchleuchtungsuntersuchungen. Beim IVP werden nur wenige Aufnahmen mehr angefertigt, beim MCU erhöht sich dagegen bei einem entsprechenden Befund die Durchleuchtungszeit und damit die Dosis um ein Viefaches.

Unterschiedliche Ergebnisse bei sonst gleichen Voraussetzungen können natürlich auch die Folge verschiedener Meßtechnik sein. Bei den TLD-Messungen ist der Bereich, in dem die meisten Werte liegen,

durch die höhere Anzahl an Messungen klar definiert. Die wenigen stark nach oben abweichenden Werte konnten auf eine nicht meßtechnisch bedingte Ursache zurückgeführt werden. Da dieser Anteil bei WEBER nicht viel anders bzw. die Auswirkung des Unterschiedes gering ist, muß auch ein gewisser Anteil am Unterschied der Mittelwerte auf die verschiedene Meßmethode zurückzuführen sein. Die für die rektale Messung verwendeten LiF-Stäbchen schwanken sehr stark in ihrer Empfindlichkeit, so daß hier der Bereich, in den die meisten Werte fallen, schon allein auf Grund der Meßmethode weiter gespannt ist.

Für das MCU gilt, daß hier die Technik bei beiden Messungen gleich ist und die Anzahl der Fehlexpositionen ähnlich ist. Allerdings war bei den Messungen von WEBER die Person des untersuchenden Arztes immer gleich, während bei den TLD-Messungen die Miktionscystourethrogramme von vier verschiedenen Ärzten mit einem unterschiedlichen Maß an kinderradiologischer Erfahrung durchgeführt wurden.

In der Universitätskinderklinik München gibt es jetzt sicher mehr pathologische Befunde, da ein großer Prozentsatz der untersuchten Patienten kinderchirurgisch betreut werden, das damalige Patientengut jedoch keine kinderchirurgischen Patienten beinhaltete. Dies mag die jetzt höheren Dosiswerte hinreichend erklären. Bei WEBER liegt kein Wert über 500 mrd, während es bei den jetzt durchgeführten Messungen immerhin 25% sind.

Dennoch liegen die Ergebnisse in beiden Fällen in gleicher Größenordnung. Mit der Thermolumineszenzdoimetrie kommt man also bei gleicher Untersuchungstechnik und ähnlicher Meßanordnung zu ähnlichen Ergebnissen wie mit anderen Meßmethoden.

WEBSTER und MERRILL (9) haben 1957 die Gonadendosis beim IVP an Kindern gemessen und berechnet.

Pro Film maßen sie bei drei- beziehungsweise zehnjährigen Knaben 82 mR und 240 mR. Für Mädchen errechneten sie am Phantom Dosen von 46 mR und 95mR. Die Spannung wird mit 52 bis 56 kV angegeben. Nimmt man an, daß die Hoden im Primärstrahl liegen und berücksichtigt man die niedrige Spannung, die in einem für die Gonadendosis ungünstigen Bereich liegt, so sind die Werte erklärlich.

In einer neueren Untersuchung von CLAUS, GILLET und WAMBERSIE von 1972 (1) wurden die Gonadendosen beim IVP und beim MCU mit Thermolumineszenzdosimetern am Phantom und an einigen Knaben direkt bestimmt.

Bei einem 13 cm dicken Phantom und 60 kV wird als weibliche Gonadendosis für eine Aufnahme beim IVP 13 mrd angegeben und zwar bei einem Laufrasterverhältnis von 7/1 und gut verstärkender Folie. Bei einem Laufrasterverhältnis von 10/1 und feinzeichnender Folie wurde 96 mrd als weibliche Gonadendosis beim IVP pro Film errechnet.

Für zwei spezielle Fälle (Alter 2 Jahre) wurde gemessen bzw. errechnet: MCU Knaben 350 mrd, MCU Mädchen 120 mrd, IVP Knaben 10 mrd, IVP Mädchen 80 mrd.

Beim MCU gehen die Autoren davon aus, daß die Gonaden bei beiden Geschlechtern immer im Strahlengang liegen. Auch wird bei den Knaben während der ganzen Untersuchung im anterior-posterioren Strahlengang durchleuchtet, was die höhere Dosis bei den Knaben zum Teil erklärt. Beim IVP - Knaben scheint

der Meßpunkt weiter vom Strahlenfeld entfernt zu sein als bei der jetzt durchgeführten Messung.

Für das MCU sind folgende Daten angegeben: 75 kV Durchleuchtungsspannung, 2 Minuten Durchleuchtungszeit, 12 Aufnahmen auf 70 mm-Film und eine Zielaufnahme.

Für eine urologische Standarddiagnostik ergeben sich hier also Dosiswerte, die in ähnlicher Größenordnung liegen.

EGEBLAD,BERG und GOTTLIEB (2) haben 1973 über direkte Dosismessungen beim MCU berichtet. Gemessen wurde an 23 Mädchen und 7 Knaben; verwendet wurden Thermolumineszenzdosimeter. Die Dosimeter wurden bei Mädchen rektal appliziert, bei Knaben am Skrotum. Das Alter der Kinder lag zwischen 6 Monaten und 14 Jahren. Die Durchleuchtungszeiten variierten zwischen 4,5 und 9 Minuten. Verwendet wurde 70 mm-Kamera und Magnetband. Jeweils 10 Aufnahmen wurden angefertigt. Die Durchleuchtungsspannung ist nicht angegeben.

Für Mädchen wurden mittlere Werte zwischen 440 und 1515 mR - mit dem Alter ansteigend - gefunden.

Für die 7 Knaben werden Dosen zwischen 85 und 1035 mR pro Untersuchung angegeben.

Die Autoren sprechen von einer Altersabhängigkeit der Dosen, die sich bei den jetzt durchgeführten Messungen - in den mittleren Altersstufen - nicht gezeigt hat.

Von MERADJI sind 1972/73 Thermolumineszenzmessungen zur Bestimmung der Gonadendosis beim MCU durchgeführt worden. Ebenfalls von MERADJI stammen direkte Messungen der Gonadendosis beim IVP (5).

Beim MCU wurde an 243 Knaben gemessen: Die LiF-Dosimeter wurden direkt an der Skrotalhaut angebracht. Die mittlere Dosis betrug 389 mrd.An 112 Mädchen wurde rektal gemessen, die Dosis betrug durchschnittlich 82 mrd. Die mittlere Aufnahmezahl betrug bei Knaben 3,9 , bei Mädchen 4,1 Filme.

In 25 Fällen wurde beim "funktionellen MCU mit 70 mm-Kamera" die Skrotaldosis gemessen, sie betrug durchschnittlich 80 mrd, bei einer mittleren Durchleuchtungszeit von 1,16 Minuten und einer mittleren Aufnahmezahl von 14.

Für die Messungen beim IVP werden folgende Werte angegeben: An 240 Knaben wurde die Skrotaldosis gemessen; durchschnittlich 23 mrd bei einer mittleren Aufnahmezahl von 2,2. An 152 Mädchen wurde eine rektale Dosis bestimmt, durchschnittlich 97 mrd bei 2,18 Aufnahmen.

Beim IVP ist die angegebene Dosis für das männliche Geschlecht mit unseren Werten nahezu identisch. Die Werte für die weibliche Dosis liegen bei uns niedriger (Mittelwert 50 gegenüber 97 mrd),liegen aber noch in ähnlicher Größenordnung. Außer der Anzahl der gebrauchten Filme werden keine weiteren Angaben über technische Daten gemacht, ein genauerer Vergleich ist daher nicht möglich.

Beim MCU liegen die angegebenen Werte für die männliche Gonadendosis erheblich höher als bei der vorliegenden Untersuchung. In der Untersuchungstechnik bestehen allerdings Unterschiede. Inwieweit die technischen Daten (außer der Aufnahmezahl) voneinander abweichen, ist nicht bekannt. Die Messungen beim MCU mit 70 mm-Kamera ergeben ähnliche Werte wie bei der bislang in der Universitätskinderklinik München durchgeführten Technik; nach Abschluß der Messungen wurden die Film-Folien-Aufnahmen hier vollständig durch 70-mm-Fotografie des Bildverstärkerausgangsschirmes ersetzt.

In dem ausführlichen Bericht Nr.190-75-05 des internationalen Reaktorinstitutes in Delft (6) werden die Ermittlungen zur Bestimmung der genetisch signifikanten Dosis durch die Röntgendiagnostik bei Männern in den Niederlanden beschrieben. Es wurden ebenfalls LiF-Dosimeter verwendet und diese auch genauer untersucht.

Als Dosis für das IVP wird bei Männern ein Zentralwert von 60 mrd angegeben; die mittlere Dosis beträgt 501 mrd. Die Werte wurden aus 1734 Einzelmessungen an 66 verschiedenen Krankenhäusern bestimmt. Die mittlere Aufnahmezahl betrug 39 mrd, die höchste mittlere Dosis eines Krankenhauses 4253 mrd.

Im Vergleich mit diesen Messungen an Erwachsenen wäre es interessant, auch an Kindern Messungen in verschiedenen Krankenhäusern durchzuführen. Die

Streuung bei Kindern zwischen den einzelnen Krankenhäusern ist sicher nicht niedriger als in dem Bericht aus den Niederlanden für Erwachsene angegeben ist.

Die bei der vorliegenden Arbeit gefundene mittlere männliche Gonadendosis beim IVP liegt unter der niedrigsten mittleren Dosis eines Krankenhauses für Erwachsene.

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird über die Messung der Gonadendosis beim Infusionsurogramm und beim Miktionscystourethrogramm mit Hilfe der Thermolumineszenzdosimetrie an 190 Kindern berichtet. Als Zentralwerte wurden ermittelt: für die männliche 12,5 mrd, für die weibliche Gonadendosis 40 mrd beim Infusionsurogramm. Beim Miktionscystourethrogramm ergaben sich als entsprechende Werte 78 mrd für das männliche und 210 mrd für das weibliche Geschlecht. Da der Mittelwert stark von wenigen extrem hohen Werten abhängt, erscheint der Zentralwert aussagekräftiger.

Die männliche Dosis wurde in Skrotum-Nähe am Oberschenkel gemessen, die weibliche Dosis im Rektum.

Als Vorzüge der LiF-Dosimeter können ihre kleine Abmessung, die auch eine einfache rektale Dosisbestimmung erlaubte, sowie ihre niedrige untere Meßgrenze genannt werden. Die Streuung der Dosimeter wurde durch Mehrfachmessung verringert.

Es wurde sowohl an Knaben eine "weibliche"(rektale) Dosis wie auch an Mädchen eine "männliche"(am Oberschenkel,"im Schritt") bestimmt. Dabei zeigte sich, daß die Verwendung des Meßpunktes der männlichen Gonadendosis als Referenzmeßpunkt beim IVP sinnvoll ist. Dieser Punkt gibt einen guten Anhalt für die weibliche Gonadendosis. Es besteht eine enge Korrelation zwischen beiden Dosen, da beide Meßpunkte eine definierte Lage zum Primärstrahl besitzen. Eine Schätzung der "weiblichen"(rektalen) Gonadendosis ist aber auch über das routinemäßig gemessene Flächendosisprodukt möglich, dies scheint nicht

viel ungenauer zu sein als die Referenzdosismessung und ist einfacher. Eine Verbesserung der Referenzdosismessung bringt die Schätzung der rektalen Dosis über zwei externe Thermolumineszenzsonden, davon eine im Strahlengang. Der Fehler zwischen berechneter und gemessener rektaler Dosis wird hierdurch halbiert, der Arbeitsaufwand verdoppelt.

Beim MCU ist jedoch durch die wechselnden Beziehungen des Referenzpunktes zum Strahlengang und damit einem unterschiedlichen Streustrahlenanteil nur ein schwächerer Zusammenhang mit der "weiblichen" (rektal gemessenen) Gonadendosis vorhanden. Eine Schätzung der weiblichen Gonadendosis anhand der Durchleuchtungszeit ist nicht schlechter als über die Referenzdosismessung. Auch die Kenntnis der Gonadendosisleistung ist wertvoll zur Abschätzung der Gonadenbelastung beim MCU.

Alle Werte, die mit einer"weiblichen" Gonadendosis verglichen wurden, beziehen sich auf die rektale Messung.

Soweit man die vorliegenden Ergebnisse mit anderen Untersuchungen vergleichen kann, sind die erhaltenen Dosiswerte ähnlich hoch oder niedriger.

L I T E R A T U R

(1) CLAUS D., GILLET R., WAMBERSIE A.:Radiologie Pédiatrique et Irradiation.J.belge Radiol.55.2. 263 -270 (1972)

(2) EGEBLAD M.,BERG O.,GOTTLIEB E.: Radiation Dose Measurements in Micturition Cystourethrography. Ann.radiol. 17,(4) 423 -425 (1974)

(3) FENDEL H.: Radiation Due to Urinary Tract Disease. Prog.Pediat.Radiol. 3, 116 - 135 (Karger, Basel/Chikago 1970)

(4) FENDEL H., HARTMANN CH.: Strahlenexposition von Kindern mit Harnwegsinfektion. Ann.Radiol., 12(3-4), 245 -250 (1969)

(5) MERADJI M.:Vortrag Deutscher Röntgenkongress in Essen 1976

(6) REAKTORINSTITUT DELFT (Herausgeber):Ausführlicher Bericht Nr.190-75-05 (1976)

(7) REGULLA D.:Untersuchung der LiF-Radiothermolumineszenzdosimeter auf Eignung zu Dosisvergleichen bei Versand der Lithiumfluoridmessonden mit der Post ("Teledosimetrie").GSF Bericht S 124. Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München (1970)

(8) WEBER CH.:Die Röntgenexposition von Kindern bei diagnostischer Untersuchung der Nieren und Harnwege. Dissertation an der Eberhard-Karls-Universität Tübingen (1971)

(9) WEBSTER E.W.,MERRILL O.E.:Radiation Hazards: Measurements of Gonadal Dose in Radiographic Examinations. New Engl. J.Med. (1957), 811 - 819

Zu besonderem Dank verpflichtet bin ich Herrn Dipl.Phys.H.Schöfer für seine Unterstützung bei dieser Arbeit. Die statistischen Berechnungen wurden größtenteils an einem Hewlett-Packard 9830 Calculator (mit HP-9866 Printer und 9862 Plotter) durchgeführt.

L e b e n s l a u f

Am 26.10.50 wurde ich als zweiter von drei Söhnen des Dipl.-Ing. Werner Renner und seiner Frau Gisela, geb. Heidemann in Augsburg geboren.

Von 1956 bis 1960 besuchte ich in München die Volksschule, von 1960 bis 1970 das Oskar-von-Miller-Gymnasium in München, Abitur dort am 20.Juni 1970.

Zunächst Studium von 2 Semestern Agrarwissenschaften an der TU München-Weihenstephan, dann Ableistung des Zivildienstes in der Röntgenabteilung der Universitäts-kinderklinik München vom 4.Okt.1971 bis zu 28.Feb.1973.

Danach Bewerbung zum Medizinstudium; im Sommersemester 1973 ein weiteres Semester Agrarwissenschaften an de TU München, Diplom-Vorprüfung.
Medizinstudium vom Wintersemester 1973/74 bis zum Sommer-semester 1978.

Ärztliche Vorprüfung im August 74.; .Teil der Ärztlichen Prüfung im August 1975. 2.Teil der Ärztlichen Prüfung im August 1977. 3.Teil der Ärztlichen Prüfung im Oktober 1978.

Praktisches Jahr von Oktober 1977 bis September 1978.

Am 30.4.75 heiratete ich die Lehrerin Ursula Küstahler.
Am 16.12.76 wurde unsere Tochter Katrin geboren.

Offsetdruck
GmbH & Co. KG
86 Bamberg Hohe-Kreuz-Str 8b

M. SCHADEL
• Tel. 0951/54414 • 58461 •